

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TÄPPISTEADUSTE VALDKOND
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT

Mario Mutli

**EESTIS TEKKINUD TEKSTIILIJÄÄTMETE
TAASKASUTAMISVÕIMALUSED ISOLATSIOONIMATERJALINA**

Magistritöö (30 EAP)

Juhendaja: PhD Alar Noorvee

Kaismisele lubatud:

Juhendaja: _____

Tartu 2017

Eestis tekkinud tekstiilijäätmete taaskasutamise võimalused isolatsioonimaterjalina

Tänapäeval kasutatakse isolatsioonimaterjalina põhiliselt klaas ja kivivilla ning EPS-i (vahtpolüstereeni). Paraku kulutatakse nende materjalide tegemiseks palju taastumatuid ressursse ja lisaks on nende utiliseerimine raske. Seetõttu on vajalik leida jätkusuutlikumad lahendused isolatsioonimaterjalide tootmiseks. Antud magistritöö eesmärgiks oli saada ülevaade Eestis tekkivate tekstiilijäätmete kogustest ja leida kui palju sellest saaks kasutada isolatsioonimaterjalide tootmiseks. Info saamiseks kasutati autori poolt koostatud küsimustikku ja Jäätmearuandluse infosüsteemi. Tulemustest selgus, et suuremat osa materjalist oleks võimalik kasutada isolatsiooni tegemiseks, kuid praegu satub 90% tekkivatest tekstiilijäätmetest olmeprügisse. 2015. aastal tekkis Eestis üle 21 000 tonni tekstiilijäätmeid, mida oleks võimalik ümber töödelda isolatsioonimaterjali. Töö tulemuste analüüsimisel selgus, et kasutades efektiivsemat kogumissüsteemi oleks võimalik palju rohkem tekstiilijäätmeid taaskasutada. Lisaks sellele selgus, et kui saaks kokku korjatud kas või ainult 50% kogu tekkinud tekstiilijäätmetest, oleks see võimalik toormatejal isolatsioonipaneelide tootmiseks. Selliste paneelidega saaks soojustada Eestis üle 4 400 eramajapidamise (2-korruseline, ehitusalase pindalaga 100 m²).

Märksõnad: *isolatsioonimaterjal, tekstiilijäätmed, soojustusmaterjal, jäätmete taaskasutus*

CERCS kood: Tehnikateadused T270, Keskkonnatehnoloogia, Reostuskontroll

Textile waste as building insulation material in Estonia

Most popular building insulations are often made from nonrenewable materials and have high energy consumption. These insulation materials such as EPS, glass- and rock wool cause many problems in the disposal stage because often there aren't any possibilities to recycle them. Thus, it is important to adopt more sustainable materials for building insulation materials. This work's aim was to find out how much textile waste is generated in Estonia every year. For that questionnaire and waste generation statistics were used. The amount of textile waste that ends up in landfills or incineration plants was over 21 000 tons in 2015. If we can use effective collecting systems to reuse only half of it, then we could produce insulation material for over 4 400 houses (2 story, 100m²) with that amount of waste.

Keywords: *insulation, textile waste, waste recycling*

CERCS code: Technological sciences, T270, Environmental Technology, Pollution control

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1 SOOJUSTUS	6
1.1.1 Soojustuse olemus või vajalikkus	6
1.1.2 Isolatsioonimaterjalid	7
1.1.3 Isolatsioonimaterjalide olulised omadused	8
Soojusjuhtivus	8
Soojusmahtuvus	9
Materjali reageerimine tulele	9
Materjali reageerimine veeaurule	9
1.1.4 Hetkel peamiselt kasutatavad isolatsioonimaterjalid	10
Kivivill	10
Klaasvill	10
Vahtpolüstereen (EPS)	10
XPS	11
PUR vaht	11
1.1.5 Looduslikud/alternatiivsed isolatsioonimaterjalid	11
Lambavill	11
Tööstuslik kanep	12
Harilik lina	12
Pilliroog	12
Suhkrurookiud	13
Hundinui	13
1.1.6 Taaskasutatud materjalid	13
Taaskasutatud klaas	13

Tselluvill.....	14
Taaskasutatud plastik	14
1.2 Tekstiilijäätmed	14
1.2.1 Tekstiilijäätmete olemus ja teke.....	15
1.2.2 (Taas)kasutus	16
1.2.3 Näiteid tekstiilijäätmete kasutamisest.....	17
Uute riide valmistamine	17
Tekstiilijäätmed isolatsioonimaterjalina	18
Soojustusmaerjali tootmise protsess Toom Tekstiil AS näitel.....	18
Teisi näiteid tekstiilijäätmetest soojustuse tootmiseks.....	18
2. MATERJAL JA METOODIKA	20
3. TULEMUSED.....	23
3.1 Küsitlusankeedi vastused	23
3.2 Jäätmearuandluse infosüsteemi (JATS) statistika.....	26
4. ARUTELU	33
4.1 Üldmudel tekstiilijäätmetest isolatsioonimaterjali tootmiseks ja kogumissüsteem	34
KOKKUVÕTE.....	36
SUMMARY	37
TÄNUAVALDUSED	38
KASUTATUD KIRJANDUS	39
LISA 1	44
LIHTLITSENTS	45

SISSEJUHATUS

Loodusressursside vähenemise ja kallinemise tõttu on viimastel aastakümnetel hakatud aina rohkem rõhku pöörama hoonete energiaefektiivsusele. Soojustuse kasutamine ehitistes on üks kõige mõjuvamaid meetodeid vähendamaks kütmise ja ka jahutamise vajadust hoonetes. Erinevaid looduslikke isolatsioonimaterjale on päris palju uuritud, kuid majanduslike põhjustel on need jäänud pigem teadustöö tasemele. Tänapäeval on kõige populaarsemad isolatsioonimaterjalid kivi-, klaasvill ja vahtpolüstereen ehk EPS. Neid aga valmistatakse taastumatest loodusvaradest ja nende tootmine on energia mahukas. Lisaks valmistab tänase päevani probleeme nende hilisem utiliseerimine. Isolatsioonimaterjalide peamised näitajad on peale soojusjuhtivuse ka tulekindlus, reageerimine veeauruga ja materjali tihedus.

Tekstiilitööstuses on väga palju erinevaid tootmistehnoloogiaid ja toormaterjale, mille tõttu on ka tekstiilijäätmed väga erineva keemilise koostisega, ning tänu sellele on nende taaskasutamine keerulisem kui nt paberi ja papi puhul. Tänapäeval mõistetakse tekstiilijäätmete taaskasutuse all oma rõivaste viimist teise ringi poodidesse. Kui need pole müügikõlbulikud, siis muid võimalusi nagu ei olegi. Seetõttu ongi väga paljud kodanikud ja ettevõtted sunnitud tekstiilitooted andma jäätmekäitlejatele, kes ladestavad need prügilatess või põletavad koospõletusjaamades. Kuna üldine maailma jäätmepoliitika liigub jäätmetekke vähendamise suunas, siis tuleks leida ka tekstiilijäätmete käitlemisele paremaid ja jätkusuutlikumaid lahendusi.

Antud magistritöö eesmärgiks oli anda ülevaade Eestis iga-aastaselt tekkivate tekstiilijäätmete kogustest ja sellest kui suurt osa neist ja kuidas saaks potentsiaalselt kasutada isolatsioonimaterjali tootmiseks. Seejuures oli eesmärgiks anda soovitusi vältimaks tekstiilijäätmete sattumist olmeprügisse ja suurendamiseks nende taaskasutamist.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 SOOJUSTUS

1.1.1 Soojustuse olemus või vajalikkus

Üks tuleviku ehitiste olulisemaid väljakutseid on nende terve elutsükli, ehitustest lammutuseni, energiatarbe vähendamine. Euroopa Komisjoni hinnangul kulub Euroopa Liidus hoonete kütmisele ligikaudu 40% kogu toodetavast energiast ja hoonete elutsükli jooksul tekib umbes 36% kogu Euroopa Liidu CO₂ emissioonidest. Uuemad ehitised tarbivad ruutmeetri kohta alla 5 liitri kütteõli, vanematel hoonetel on see number ümmarguselt 25 liitrit, mõnedel majadel isegi üle 60 liitri aastas. Täna on päeval on umbes 35% Euroopa Liidus olevatest hoonetest vanemad kui 50 aastat. Eestis on 60% majadest ehitatud enne 1975. aastat. Suurendades hoonete energiaefektiivsust saab vähendada kogu Euroopa Liidu energiatarvet 5-6% ja CO₂ emissioone 5% võrra (Euroopa komisjon, 2017).

Hoonete energiatõhususe parandamiseks ei piisa ainult kodumasinade ökonoomsemaks muutmisest või elanike elustiili parandamisest (Lechtenböhmer *et al.*, 2011). Kõige efektiivsem ja kiirem võimalus vähendada hoonete mõju keskkonnale on parandada selle soojustusnäitajaid. Aastaks 2012 oli Euroopa Liidus umbes 4/5 hoonete soojustuspotentsiaalset kasutamata ehk hoonete energiatarbimist oleks võimalik vähendada kuni 80% (Lechtenböhmer *et al.*, 2011).

Hoonete soojustamise kohta oli enne 1973. aasta naftakriisi väga vähe regulatsioone ja vähesed olemasolevad kehtisid ainult Põhja-Euroopas. Tolleaegsed regulatsioonid keskendusid pigem toa soojana hoidmisele kui energiatõhususe saavutamisele. Majade soojapidavamaks muutmiseks ehitati hooned kahekordsete seinte ja põrandatega. Alles aastatel 1950 – 1960 räägiti esmakordselt spetsiaalsetest isolatsioonimaterjalidest ja U-arvust (Papadopoulos, 2016).

Tänapäeva soojustusregulatsioonide kohaselt peab soojustama katust, seinu, lagesid, põrandat ja soojavee torustikku. Korralik isolatsioon aitab vähendada soojusenergia kadu ja seetõttu väheneb ka küttevajadus. Seega on soojustus eriti oluline just piirkondades, kus temperatuurid langevad teatud perioodil väga madalale. Kuid ka soojemates piirkondades on soojustusest kasu, kuna väheneb jahutamise vajadus (Thorsnes *et al.*, 2013). Korraliku soojusisolatsiooni

kasutamine aitab vähendada linnamüra mõju inimestele (Euroopa Parlamendi ja Nõukogu otsus nr 1386/2013/EL, 2013).

Täiendavalt on oluline ka kogu hoone elutsüklit lähtuvalt kasutada madala primaarenergiaga isolatsioonimaterjale.

Ehitusmaterjali primaarenergia all mõistetakse energiahulka, mis on vajalik materjali tootmiseks, hõlmates endas kogu energiakulu, alates toormaterjali saamiseks kulutatud energiast, lõpetades toote ehituspaika transportimisega (Esperk, 2007). Seega on kasulik kasutada võimalikult väikese primaarenergiaga ehitusmaterjale.

1.1.2 Isolatsioonimaterjalid

Soojustuseks sobib mistahes materjal, mis vähendab soojusülekannet kahe keskkonna vahel. Isolatsioonimaterjalid võib toormaterjali järgi jagada kolme gruppi: anorgaanilised, orgaanilised ja metallilised. Anorgaanilised materjalid on näiteks klaas- ja kivivill, samas kui teise gruppi kuuluvad orgaanilisest toormest tehtud tsellu-, puu- ja lambavill. Viimasesse gruppi jäävad metallmembraanid, mis on täidetud gaasi või õhuga (Al-Homoud, 2005). Aastaid on Euroopa populaarseimaks isolatsioonimaterjaliks olnud mineraalvill (57% turust) ja polümeeri baasil tehtud materjalid, nagu vahtpolüstereenid EPS ja XPS (40%). Lisaks kasutatakse veel tselluloosi (3%) (Sohn *et al.*, 2017). Nende materjalide kasutamisega kaasneb aga keskkonnaprobleeme, näiteks kasutatakse nende valmistamiseks taastumatuid loodusvarasid. Lisaks on mineraalvilla ning vahtpolüstüreeni hilisem utiliseerimine siiani probleem, millele pole leitud head lahendust. Palju keskkonnasõbralikum oleks kasutada looduslikke või taaskasutatavaid materjale isolatsiooni valmistamiseks. (Asdrubali *et al.*, 2015).

Orgaanilistest materjalidest isolatsioonimaterjalid muutuvad aina atraktiivsemaks, sest nad on taaskasutatavad, ei ole toksilised, on keskkonnasõbralikud ja vajavad vähe ressursi. Lisaks kulub nende tootmiseks vähem energiat kui tavapärase isolatsioonimaterjalide tootmiseks. Samas anorgaaniline isolatsioon on tihtilugu paremate näitajatega ja odavam. Samuti ei põle anorgaanilised isolatsioonimaterjalid nii hästi ja on niiskusele vähem vastuvõtlikud (Aditya *et al.*, 2017).

1.1.3 Isolatsioonimaterjalide olulised omadused

Isolatsioonisüsteemid ja -materjalid vähendavad soojusvoo ülekannet. Isolatsioonimaterjalid võivad olla tehtud ühest või mitmest erinevast materjalist. Põhilised näitajad, mida soojustuse juures hinnatakse on: soojusjuhtivus (λ), soojusjuhtivustegur U-arv, soojustakistus R-arv ja tihedus.

Soojusjuhtivus

Soojusjuhtivus on aine füüsikaline omadus, mis iseloomustab keha soojuslabilaskvust ja väljendub soojusjuhtivusteguri kaudu. See sõltub paljuski ka aine agregaatolekust, temperatuurist ja aine poorsusest. Materjali loetakse isolatsioonimaterjaliks siis, kui soojusjuhtivus on alla 0,07 W/m K. Mida suurem on aine soojusjuhtivustegur, seda paremini juhib ta soojust, ehk madala näitajaga materjalid sobivad hästi isoleermaterjaliks (Ots, 2011). Soojusjuhtivustegur (U arv) näitab kui palju soojust läbib ühe ruutmeetri suurust seinat ühekraadise sise- ja välistemperatuuri erinevuste puhul ühes tunnis W/m² K. Soojustakistus R on sise-ja välispinna takistuste ja üksikute piirde materjalikihtide takistuste summa. Soojusjuhtivus näitab pinnaühikut ajaühikus läbivat soojushulka temperatuurigradiendi ühiku kohta (W/m K) (Al-Homoud, 2005).

U arvu kindlaksmääramiseks on kaks võimalust, kas *hot box* meetod või arvutades standardi ISO 6946 valemiga (ISO 6946:2007). *Hot box* meetodi puhul kasutatakse kahte suletud ruumi, mis on konstantsetel erinevatel temperatuuridel. Keskkonnaruum, mis on külm, ja mõõtmistruum, mis on soe. Kaks ruumi eraldatakse proovimaterjaliga, mida soovitakse testida. Seejärel hinnatakse soojusvoogu kahe ruumi vahel ja see ongi testmaterjali soojusjuhtivus (Asdrubali & Baldinelli, 2011). Uuring on näidanud, et *in situ* mõõdetud soojusjuhtivused on suuremad kui laboritingimustes mõõdetud tulemused. Põhjendusi selleks on mitu: tootjad ülehindavad materjali, et seda paremini müüa; ehitustööde käigus ei pruugita paigaldada kõike perfektselt, lisaks võivad välised tingimused (vihm, tuul) ka mõjutada mõõtmisi (Asdrubali *et al.*, 2014).

Soojusjuhtivus ja soojuserijuhtivust kasutatakse juhul kui soojusvoog on stabiilne. Ebastabiilse soojusvoo puhul kasutatakse enamasti termilist difusiooni, mis uurib materjalide võimet soojust juhtida ja soojust säilitada. Seda mõõdetakse m²/s ja see arvutatakse soojusjuhtivuse suhete, soojustuse tiheduse ja erisoojuse kaudu. Mõõtmisel kasutatakse

standardit ISO 22007-1 (ISO 22007-1:2009).

Isolatsioonimaterjalid, mille soojusjuhtivus on alla 0,05 W/m K ja erisoojus alla 1,4 kJ/kg K, võib lugeda väga heaks isegi ebastabiilse soojusvoo korral (Asdrubali *et al.*, 2015).

Soojusmahtuvus

Soojusmahtuvus näitab materjali võimet säilitada soojust ja see on soojushulk, mis on vajalik 1 kilogrammise materjali temperatuuri tõstmiseks 1 kraadi võrra. Mõõdetakse seda J/kgK.

Materjali reageerimine tulele

Materjali reageerimine tulele on isolatsioonimaterjalide puhul samuti äärmiselt oluline näitaja, seda eriti turvalisuse ja taaskasutamise koha pealt. Hindamaks materjali tuleohutust, kasutatakse spetsiaalset hindamissüsteemi (Lehner, 2005). Selle järgi kantakse materjalid klassidesse (A1, A2, B,C,D,E ja F) arvestades seejuures mitmeid parameetreid: materjali temperatuuri tõus, materjali massi vähenemise kiirus, palju materjal põlemisel kuuma tekitab, palju materjal suitsu tekitab, kui kaugemale levib leek jm. Kõige tuleohtlikumad materjalid hinnatakse klassi F ja tulele kõige vastupidavamad materjalid klassifitseeritakse A1 (Lehner, 2005). Materjali reageerimist tulele vähendavad näiteks: heksabromotsüklododekaan (HBCDD), broomisool, orgaanilised halogeenid, tris(1-kloro-2-propüül) fosfaat (TCPP), antimon trioksiid, orgaanilised arüül-fosfori ühendid, ammoonium polüfosfaadid. Osad ained, mida tuleohutuse vähendamiseks lisatakse, on tervisele ohtlikud ja muudavad hiljem materjali utiliseerimise keeruliseks (IOM Consulting *et al.*, 2009).

Materjali reageerimine veeaurule

Suur õhuniiskus siseruumides võib põhustada mitmeid probleeme (hallitus, kondentsvesi). See omakorda võib kahjustada isolatsioonimaterjale. Kuna põhiline osa niiskusest tuleb ruumidesse veeauruna, on ka äärmiselt oluline kasutada isolatsioonimaterjalide kaitseks veeaurutõkkeid. Aurutõkked on spetsiaalsed materialid, mis ei lase läbi veeauru. Materjale klassifitseeritakse vastavalt läbilaskvusele kolme gruppi. Aurubarjäärid, mida veeaur ei läbi (<1 perm), nagu näiteks klaas, fooliumiga isolatsioonimaterjalid, spetsiaalselt töödeldud jõupaber, kile. Aurutõkked, mis on pool läbilaskvad ($1 < 10$ perm), sellised materjalid on vineer ja katmata XPS. Viimaseks on hingavad materjalid, millest aur läbi läheb (> 10 perm), näiteks kipsplaadid, tselluloos, tsement (Al-Homoud, 2005).

1.1.4 Hetkel peamiselt kasutatavad isolatsioonimaterjalid

Kivivill

Kivivilla toodetakse erinevatest basaltsetest kivimitest (dolokivid, basalt, diabaas). Selleks kuumutatakse kivimeid 1600 °C juures, misjärel kivimid muutuvad laavaks. Seejärel sulamit kedrakse, kuni see muutub kiuliseks. Pärast seda lisatakse sideaineid (nt vaigud, tärklis) ja pressitakse mass kokku õigesse suurusesse ning kuumutakse. Peamised soojustusnäitajad kivivillal: soojusjuhtivus 0,033 – 0,040 W/m K, tihedus 40 – 200 kg/m³, soojusmahtuvus 0,8 – 1,0 kJ/kg K ja primaarenergia 26,393 MJ-Ekv/kg. Kivivilla saab peale kasutamist võimalusel tootmistehases taaskasutada või siis prügimäele ladestada (Schiavoni *et al.*, 2016; Bribian *et al.*, 2011).

Klaasvill

Klaasvilla tegemiseks segatakse omavahel liiv, lubjakivi ja taaskasutatud klaas, mis moodustab vähemalt 35% ja segu kuumutatakse temperatuuril 1300- 1450 °C. Kiuliseks muudab sulami selle tsentrifuugimine ja puhumine. Kiudusid pihustatakse polümeerliimiga, mis nad liidab, seejärel kuumutatakse, et liim püsima jääks. Kaasvilla peamised soojustusnäitajad on sarnased kivivillale: soojusjuhtivus 0,031 – 0,037 W/m K, tihedus 15 – 75 kg/m³, soojusmahtuvus 0,9 – 1,0 kJ/kg K. Sarnaselt kivivillale on ka klaasvilla võimalik peale kasutamist tootmisüksustes taaskasutada või siis prügimäele ladestada (Schiavoni *et al.*, 2016).

Vahtpolüstereen (EPS)

EPS plaatide jaoks aurutatakse polüstereenigraanuleid (diameetriga 0,5-1,3 mm), mille tagajärjel muutuvad need suuremaks, kuna neisse jääb aurutamisel õhk sisse. EPS koosneb 95 – 98% õhust (Tan & Khoo, 2005). Pärast aurutamist pressitakse tekkinud vahtplasti osakesed kokku. Peamised soojusnäitajad EPSil on: soojusjuhtivus 0,031 – 0,037 W/m K, tihedus 15 – 75 kg/m³, soojusmahtuvus 1,25 kJ/kg K ja primaarenergia 105,486 MJ-Ekv/kg. Mida suurem on EPS tihedus, seda paremad on soojusnäitajad. Taaskasutamine on keeruline ja materjal ladustatakse põhiliselt prügilatesse või põletatakse prügipõletusjaamades (Schiavoni *et al.*, 2016; Bribian *et al.*, 2011).

XPS

XPS on sinine ekstrudeeritud kõrgpolüstüreenist soojustusplaat. XPS soojustusnäitajad on sarnased EPSga, kuid see imab endasse vähem vett ja seetõttu kasutatakse seda kohtades, kus isolatsioonimaterjal puutub vahetult pikka aega kokku niiske keskkonnaga. Peamised soojustusnäitajad XPSil on: soojusjuhtivus 0,033 – 0,036 W/m K, tihedus 30 kg/m³, soojusmahtuvus on 1,3-1,7 kJ/kg K (Saint-Gobain AS, 2017).

PUR vaht

Toodetakse läbi eksotermilise reaktsiooni, kus reageerivad di- või polüisotsüanaat polümeer polüoolidega. PUR (polüuretaan) vahtu saab objektile pihustada vajalikku kohta, sest see paisub hiljem. On olemas avatud pooride (tihedus 6-12 kg/m³) ja suletud pooridega (27-40 kg/m³) PUR vaht. Kusjuures suletud pooridega vahul on madalam soojusjuhtivus ja suurem vee ja õhu pidavus. Põhilised soojustusnäitajad PUR vahul on: soojusjuhtivus 0,022 – 0,040 W/m K, tihedus 10 – 40 kg/m³, soojusmahtuvus 1,3-1,45 kJ/kg K ja primaarenergia 103,782 MJ-Ekv/kg (2K Services OÜ, 2017; Bribian *et al.*, 2011). Taaskasutada seda ei saa ja see ladestatakse prügilatesse.

1.1.5 Looduslikud/alternatiivsed isolatsioonimaterjalid

Tänu säästva ehituse kontseptsioonile Euroopas ja mujal maailmas on turgudele jõudnud ka mõned looduslikud ja taaskasutatud isolatsioonimaterjalid, millest osasid saab juba osta ehituspoodidest, kuid teiste kohta põhjalikud uuringud alles käivad. Säästva ehituse põhimõtted võivad olla eriti olulised just arengumaades, kus tänaseks ei ole veel välja kujunenud taaskasutuse poliitikat. Samas on arengumaades suurtes kogustes põllumajanduslikke ja tööstuslikke jäätmeid (Asdrubali *et al.*, 2015).

Lambavill

Ühelt lambalt saab aastas umbes 2,3 – 3,6 kg villa. Uuringutest on leitud, et lambavillast tehtud paneelidel on mitu eelist. See on puhas ja kergesti saadav tooraine ja selle käsitlemine on tervisele ohutu. Taaskasutamine on lihtne ja lambavill on keskkonnasõbralik. Lambavilla ei pea töötleva süttimist takistavate kemikaalidega, sest see on oma loomult juba raskesti süttiv. Materjal ei kaota oma elastsust ja ruumala ajas. Lambavilla peab siiski töötleva

boorisoolaga, et vältida kahjureid (nt koiliblikad) soojustuses. Põhilised soojusnäitajad lambavillal on: soojusjuhtivus 0,034 – 0,050 W/m K, tihedus on 21,9 – 23 kg/km³ (Zach *et al.*, 2012; Corscadden *et al.*, 2014).

Tööstuslik kanep

Tööstuslikku kanepit (*ld. k Cannabis sativa*) kasvatatakse tänapäeval üle kogu Euroopa. Kanepikiududest saab valmistada korraliku soojusisolatsioonimaterjali, mille põhilised soojusnäitajad on: soojusjuhtivus 0,038 – 0,060 W/m K, tihedus 20 – 90 kg/m³, soojusmahtuvus 1,6 – 1,7 kJ/kg K. Kanepikiududest tehtud materjali tuleb kaitsta niiskuse, näriliste, hallituse ja putukate eest. Lisaks peab materjali enne kasutamist muutma tulekindlaks, kasutades näiteks boorisoola (Korjenic *et al.*, 2011).

Harilik lina

Harilikku lina (*Linum usitatissimum*) on kasvatatud juba aastatuhandeid ja see sisaldab umbes 70% tselluloosi ja selle kiududel on hea õhu hoidmise võime. Lina põhilised soojusnäitajad uuringute põhjal on: soojusjuhtivus 0,038 – 0,075 W/m K, tihedus 20 – 100 kg/m³, soojusmahtuvus 1,4 – 1,6 kJ/kg K. Materjalile tuleb lisada ka polüestrikiude, et see oleks tugevam, kuid soojusnäitajate poolest sobiks selline materjal ka isolatsiooniks, lisaks on ta biolagunev. See aga meeldib erinevatele närilistele ja putukatele, mistõttu tuleks isolatsioonimaterjali töödelda booriühenditega. Viimane aitab ka tulekindluse tagamisel. (Schiavoni *et al.*, 2016; Kymäläinen & Sjöberg, 2008).

Pilliroog

Soojustusena väga palju ei ole pilliroogu kasutatud, pigem on see kasutust leidnud katustel ja sisekujunduses. Pilliroog on lihtsasti kätte saadav tooraine. Pilliroo põhilised soojusnäitajad uuringu kohaselt on: soojusjuhtivus 0,055 – 0,0065 W/m K, tihedus 97 -152 kg/m³. Kusjuures katsetatud on erinevaid kõrte asendeid, paneelide paksust, tihedust ja niiskuse sisaldust. Kuna pilliroog on hästi süttiv, siis peaks teda kasutama näiteks kipsplaadi taga või muudes kohtades, kus tuleoht on kõige väiksem (Asdrubali *et al.*, 2016).

Suhkrurookiud

Suhkruroo kiud on need, mis jäävad alles, kui suhkuroost on mahl välja pressitud. Tavaliselt kasutatakse suhkrurookiude biokütuste saamisel, kuid piirkondades, kus on suured suhkruroo kasvatused, tasuks seda kasutada ka soojustuses. Uuringu kohaselt sõltuvad suhkrurookiudedest tehtud soojustuspaneelide soojustusnäitjad suuresti paneelide tihedusest, olles järgmised: soojusjuhtivus: 0,046 – 0,053 W/m K, tihedus 90 – 120 kg/m³. Peamiseks probleemiks kiudude puhul on kõrge tuleohtlikkus ning putukate levik ja (hallitus)seente kasv (Manohar, 2012).

Hundinui

Hundinui peetakse peamiselt umbrohuks, kuna see takistab looduses teiste taimede kasvamist. Uuring on näidanud et hundinuiakiududest tehtud isolatsioonimaterjali soojusjuhtivuse näitajad jäävad vahemikku 0,0438 – 0,0606 W/m K ja tihedus oli 200 - 400 kg/m³. USAs on võetud ka patent hundinuiast tehtud isolatsioonimaterjalile ja seda juba 1962. aastal (Luamkanchanaphan, *et al.*, 2012).

1.1.6 Taaskasutatud materjalid

Süntetiliste ja looduslike materjalide taaskasutamine on jätkusuutlik strateegia, vähendamaks isolatsioonimaterjalide jäätmekoguste hulka prügimägedel.

Taaskasutatud klaas

Uuringud on näidanud, et klaasi saab taaskasutada, valmistamaks sellest isolatsioonimaterjali, kasutades vahustamisprotsessi. Taaskasutatud klaasi sulamisse tuleb lisada CaCO₃, mis klaasi sulatamisel tekitab mulle, mis jäävad materjali sisse (Zhu *et al.*, 2016). Kahe klaasvilla kihi vahele klaasvahu kihi panemine andis materjali soojusjuhtivuseks 0,031 W/m K ja soojusmahtuvuseks saadi 375,5 kJ/m³C (Ayadi *et al.*, 2011). Ehitusturul leiduvate toodete, milles on kasutatud taaskasutatud klaasi, soojusjuhtivusnäitajad on: soojusjuhtivus 0,038 – 0,050 W/m K, tihedus 100 – 165 kg/m³. Materjal ise on vastupidav, ei põle ega lase vett läbi (Ayadi *et al.*, 2011).

Tselluvill

Tselluvill on loodussõbralik isolatsioonimaterjal, mis on tehtud taaskasutatud paberist. Paber kõigepealt purustatakse ja siis kõrgsurveõhuga tehakse kiuliseks. Välimuselt meenutab ta natukene puuvilla. Tselluvilla on USAs hoonete soojustamiseks kasutatud juba 1950ndatest ja seda kasutati põhiliselt pööningute soojustamisel. Peamine probleem on tuleohtlikkuse ja hallitusega ja selle vastu lisatakse boorisoola. Soojustusnäitajad on 0,04 W/m K, tihedus 50 kg/m³ ja primaarenergia 10,487 MJ-Ekv/kg. (Hurtado *et al.*, 2016; Bribian *et al.*, 2011). Peaaegu 10 aastat on tselluvilla tootmisega Eestis tegelenud ka Võrumaal paiknev Werrowool (Werrowool OÜ, 2017).

Taaskasutatud plastik

Polüetüleen (PET) on üks enamtoodetavaid plastikuide, mida kasutatakse näiteks pakkimises ja ka pudelite tegemiseks. Plastiku taaskasutamine aitab säästa keskkonda, kuna toormaterjali kasutatakse vähem ja samal ajal ei ladestata nii palju prügilatesse. Uuringus tehti taaskasutatud plastikust soojustusmaterjali, mis koosnes 75% taaskasutatud PET ja 25% toor-PET ja saadi isolatsioonimaterjal, mille soojustusnäitajad on: soojusjuhtivus 0,036 W/m K, tihedus 30 kg/m³, soojusmahtuvus 0,24 kJ/kg K (Ingrao *et al.*, 2014).

1.2 Tekstiilijäätmed

Jäädet on defineeritud kui mistahes vallasasja, mille valdaja on ära visanud, kavatseb seda teha või on kohustatud seda tegema (Jäätmeseadus § 2). Jäädet võib ka tõlgendada kui midagi, mis ühest ülejäänud ja teisel võimalik uuesti kasutada. Jäätmete tekke pidev suurenemine on probleemiks mitmetel põhjustel, näiteks võib jäätmete realiseerimine mõjuda kahjulikult keskkonnale ja olla ohtlik inimeste tervisele. Lisaks muutub prügilasse ladestamine järjest kallimaks, kuna prügilate alad vähenevad, suunamaks ettevõtteid leidma jäätmete taaskasutamise rakendust. (Productivity Commission, 2006). Euroopa Liidus tekib umbes 5,8 miljonit tonni tekstiilijäätmeid aastas. Sellest ainult 1,5 miljonit (25%) suunatakse taaskasutusse, ülejäänud 4,3 miljonit tonni viiakse kas prügimäele või põletatakse koospõletusjaamades (Mar Barbero-Barrera, *et al.*, 2016).

1.2.1 Tekstiilijäätmete olemus ja teke

Tänapäeval toodetakse tekstiile väga paljudest erinevatest materjalidest, looduslikest ja sünteetilisest materjalidest ning ka erinevate materjalide kombinatsioonides. See põhjustab väga suure varieeruvuse lõpptoodangus. Sünteetilisest kiudu hakati tootma, et rahuldada aina suurenevat nõudlust tekstiilitoodete järele. Esimesed kaubanduslikud sünteetilised kiud olid nailon ja kunstiid.

Tekstiilijäätmeid jagatakse kolme erinevasse rühma, vastavalt sellele, millises etapis jääde tekkinud on: tarbijaeelne, tarbijajärgne ja tööstuslik tekstiili jääde. Tarbijaeelsed tekstiilijäätmed on tootmisjäätmed, mis on tekkinud kiudude (looduslike või tööstuslike) töötlemisel, lõngade ja kangaste kasutamisel, sealhulgas äralõiked, ülejäägid ja muu. Kuigi kangatükid on jäätmed, siis kui need on piisavalt suured, saab neid kasutada oma tootmises või edasi müüa teistele tootjatele. Tarbijaeelne jääde on nii-öelda puhas jääde (Caulfield, 2009). Ettevõtted vastutavad ise, kuidas nad jäätmetest vabanevad, maksavad prügilasse ladestamise eest, või teevad kaupa teiste ettevõtetega, kes nende jäätmeid oma tootmises kasutada saavad.

Tarbijajärgne tekstiilijääde võib olla ükskõik milline riie, majapidamiskangas (rätikud, linad), mida tarbija enam ei vaja ja otsustab neist loobuda. Põhjuseid selleks võib olla mitmeid: kasutatud, katkised, väikesed, vanamoodsad või midagi muud. Selliseid jäätmeid on kõige lihtsam taaskasutada ja seda on tehtud juba pikka aega erinevate teise ringi ettevõtete poolt: annetused, kasutatud riie kauplused, disainerid ja paljud teised (Caulfield, 2009).

Kaubanduslikud ja tööstuslikud tekstiilijäätmed on näiteks vaibad, kardinad, tekstiilfiltrite, kaltsude jms jäägid. Tööstuslikke tekstiilijäätmeid nimetatakse tavaliselt määrduvad jäätmeteks. Neid jäätmeid on kõige raskem taaskasutada, kuna nad võivad sisaldada mitmeid erinevaid kemikaale ja neist enamik visatakse prügimäele või põletatakse (Caulfield, 2009).

Iga-aastane tekstiilitoondang suureneb vaikselt ja seega on aasta-aastalt tõusutrendis ka tekstiilijäätmete kogused. Vaatamata sellele, et tekstiilijäätmed on potentsiaalselt rikkalikud energia ja materjali allikad, hõlmab praegune käitlus endas põhiliselt põletamist või prügimäele ladestamist (Jeihanipour *et al.*, 2013). Kuigi põletades väheneb jäätme mass kuni 99%, on sellel siiski ka omad probleemid. Kuna tekstiilijäätmetes on palju erinevaid värvaineid ja kemikaale, siis põletades lendub CO_x NO_x SO_x ja muid ühendeid. Jäätmepõletustehastele paigaldatud püüdeseadmed peaksid küll suurema osa kinni püüdma, kuid kindlasti on ka mingi osa, mis satub atmosfääri. Leidmaks uusi võimalusi, kuidas

tekstiilijäätmeid taaskasutada, ei vähendada ainult prügi hulka, mis läheb utiliseerimisse, vaid vähendatakse ka CO₂ emissiooni, vältides põletamist ja parandades ehitussektori energiakasutust (Valverde *et al.*, 2013). Samuti vähendatakse summaarset isolatsioonimaterjalide tootmise energiakulu, kui isolatsioonimaterjale saab toota taaskasutatud materjalist.

1.2.2 (Taas)kasutus

Kõige tavalisemad tekstiilijäätmete utiliseerimise võimalused on ladustamine prügimäele või põletamine prügipõletusjaamades elektri ja soojustuse tootmiseks. Sellest lähtuvalt ja tänu pidevale jäätmemahu suurenemisele on tekkinud keskkonnaprobleemid, mille lahendamiseks on Euroopa Liit võtnud vastu erinevaid seadusi ja direktiive. Näiteks taaskasutamise suurendamiseks on kehtestatud EL direktiiv 2008/98/EÜ, milles on määratud põhimõisted nagu jäätmed, taaskasutamine ja kõrvaldamine ning kehtestatud olulised jäätmekäitlusnõuded. Samuti on selles sätestatud üldpõhimõtted nagu kohustus käidelda jäätmeid viisil, mis ei avalda kahjulikku mõju keskkonnale ega inimese tervisele ja jäätmehierarhia (Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ, 2008). Eesti Jäätmeseaduse § 30, sätestab, et jäätmeid tuleb taaskasutada, kui see on tehnoloogiliselt võimalik ning kui see ei ole muude jäätmekäitlusmoodustega võrreldes ülemääraselt kulukas (Jäätmeseadus § 30). Riigi jäätmekavas on välja toodud jäätmehierarhia, mille kohaselt tuleb esmajärjekorras jäätmeteket vältida ja kui see osutub võimatuks, tuleb jäätmed nii palju kui võimalik ette valmistada korduskasutuseks, siis ringlusesse võtta ja muul viisil taaskasutada (põletamine, tagasitäide jms), et ladestada prügilasse võimalikult vähe jäätmeid (Riigi Jäätmekava 2014-2020).

Tänu seaduse muudatustele on ettevõtted ja organisatsioonid viimase 10 aasta jooksul ümber hinnanud oma keskkonnapoliitika ja jäätmekäitluse. Väga paljude organisatsioonide ja ettevõtete eesmärk on ja peakski olema võimalikult maksimaalselt taaskasutada tekkivaid jäätmeid. Selleks kas rakendades korduvkasutust või taaskasutust.

Tekstiilijäätmed on tihtilugu kasutamata allikakas väärtuslikule toormele, mida saab korraliku kogumise, sorteerimise ja ümbertöötlemisega muuta kasuliks tooteks. Sellised tooted on näiteks helikindlad plaadid ja soojustus (Caulfield, 2009).

Riiete taaskasutamine on protsess, mis korjab kokku riideid, annab töökohti, aitab heategevusorganisatsioone ja väldib jäätmete saatmist prügimäele. Tekstiilijäätmeid, olgu siis kiudude kujul, tekstiilina või riietena, saab ühiskonnast, tootmisest ja tarbijatelt. Erinevate

jäätmete taaskasutamise edukus sõltub suuresti tarbijate soovidest ja nende teadlikkusest. Tekstiilijäätmete taaskasutamine on üsna tavaline mitmetes riikides. Igasuguseid trikke on välja mõeldud, et edendada taaskasutust, näiteks on tehtud loteriisid, võistlusi, antud kuponge jm, et tekitada inimestes huvi. Taaskasutamisest on saanud väga vajalik elu osa, et kaitsta keskkonda. (Ahmad *et al.*, 2016).

Palju on keskendutud, et vähendada, taaskasutada ja ümber töödelda jäätmeid. Üldiselt on ümbertöötlemise tehnoloogiad jagatud primaarseks, sekundaarseks, tertsiaarseks ja kvaternaarseks. Primaarne taaskasutus hõlmab endas toote taaskasutamist uuesti selle originaalvormis. Sekundaarse ümbertöötlemise käigus tehakse uus toode, millel on teistsugused füüsilised ja keemilised näitajad. Tertsiaarse lähenemise juures kasutatakse näiteks hüdrolyüsi või pürolüüsi protsessi, või muid protsesse, kus jäätmetest jäävad alles põhikemikaalid. Kvaternaarse puhul kuulub aga jääde põletamise ja sellest saadakse energiat. Kõiki nelja kasutatakse tekstiili, plastiku ja paberi taaskasutamises (dos Reis, 2009).

Tekstiilijäätmete puhul on jäätmete koostisosad, tekstuur ja osakese suurus ainult mõned materjali omadused, mis võivad suures osas varieeruda. Tekstiilikiud võivad olla kas looduslikust materjalist, nagu näiteks: puuvill, vill, lina, siid, või siis tehislikud nagu akrüül või polüester ja need on ainult mõned näited tekstiili võimalikest toormaterjalidest. Teisalt sõltub kanga struktuur paljust niitude paksusest, struktuurist ja asetusest. Võttes arvesse, et sageli on tekstiilijääde riidetööstuse jääk, kus optimeeritakse kanga kasutust, siis alles jääv jääde on lisaks materjali erinevusele ka väga varieeruva suuruse ja kujuga. Materjalide erinevad omadused teevad ka tekstiilijäätmete võimaliku kasutamise ja uurimise keerulisemaks (Briga-Sa *et al.*, 2013; Hasanbeigi, 2010).

1.2.3 Näiteid tekstiilijäätmete kasutamisest

Uute riiete valmistamine

Reet Aus on tuntud moedisainer, kes pühendub taaskasutusel põhinevate rõivast disainile. Tema rõivakollektsioonid on loodud masstööstuses tekkivatest kangajääkidest ja valmistatud säästlike tootmisprintsipidega. Iga rõivaese tema kollektsioonis säästab keskmiselt 75% vett ja 88% energiat, võrreldes uue toote tegemisega (Aus Design OÜ, 2017)

Tekstiilijäätmed isolatsioonimaterjalina

Soojustusmaterjali tootmise protsess Toom Tekstiil AS näitel

Tekstiilijäätmetest isolatsioonimaterjali valmistamiseks kasutatakse AS-is Toom Tekstiil mitmeid eri etappe. Esimeses etapis hekseldatakse tooraine kiuliseks materjaliks, milleks kasutatakse spetsiaalseid terasid. Selles juures on oluline, et materjal ei oleks väga tugev (näiteks teksamaterjal ei sobi enam) ja sellel puuduksid lukud, nõõbid ja muud lisandid. Praegu kasutatakse AS Toom Tekstiilis tootmisel tekkinud tekstiilijäätmeid, mille puhtus on kontrollitud. Teise sammuna tuleb kiud omavahel liita ja kokku pressida kindla paksuse ja laiusena paneelide saamiseks. Järgmiseks tuleb materjali töödelda erinevate kemikaalidega, vältimaks kahjurite ja hallituse teket ning tagamaks materjali tulekindlus. Kuna soojustus on AS Toom Tekstiilil vaid üks mitmest tootmisväljundist, siis ei tegele ettevõtte ise ka hetkel isolatsioonimaterjalile sertifikaadi taotlemisega ja toodangu müümisega.

Teisi näiteid tekstiilijäätmetest soojustuse tootmiseks

Üks teadlaste grupp võttis uurimise alla ära visatud villase riide ja villatööstuse jääkidest tehtud soojustuse. Mõlemad materjalid olid 100% akrüül ja paneelide tihedused tulid vastavalt 440 kg/m^3 ja $122,5 \text{ kg/m}^3$. Uuringust selgus, et villaste riide jääkidest tehtud paneel oli efektiivsem kui villatööstuse jääkidest tehtud. Soojusjuhtivuse näitajad olid vastavalt $0,044 \text{ W/m K}$ ja $0,103 \text{ W/m K}$ (Briga-Sa *et al.*, 2013).

Teine uuring keskendus puuvillatööstuse jääkide ja laudlina tootmisjääkide kasutamisele isolatsioonimaterjalina. Tekstiilijäätmetest tehti isolatsioonipaneelid suurusega $27 \text{ cm} \times 27 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$. Paneelide tiheduse oli $53,31 \text{ kg/m}^3$ ja soojusjuhtivus $0,039 - 0,033 \text{ W/m K}$, olles parem just laudlina tootmisjääkidest tehtud materjalil (Hadded *et al.*, 2016).

On ka mõned ettevõtted, kes taaskasutavad puuvillast ja/või teksariiet, et teha sellest soojustust. Sellise materjali soojusjuhtivus on $0,039 - 0,44 \text{ W/m K}$, olles samal ajal üsna madala tihedusega $20 - 25 \text{ kg/m}^3$ (Innotherm; BondedLogic).

Veel üks uuring tehti naiste aluspesu tööstuse tekstiilijäätmetega ja vaadati, kas jäätmeid saaks kasutada muud moodi, kui prügilasse ladestades. Materjaliks oli vahukiht kahe tekstiilikihi vahel (polüester ja polüuretaan). Paneelide tegemiseks purustati materjal ja lasti läbi 4 mm sõela. Seejärel kuumtöödeldi paneeli 190 kraadi juures 15 minuti jooksul. Materjali

soojusjuhtivus jäi 0,053 ja 0,041 W/m K vahele ja sõltus paneeli tihedusest, mis varieerus 200 ja 500 kg/m³ vahel. Kõige parema soojujuhtivusega oli paneel, mille tihedus oli 396 kg/m³ (Valverde *et al.*, 2013).

2. MATERJAL JA METOODIKA

Selgitamaks hetkel Eestis tekkivate tekstiilijäätmete kasutust/taaskasutust, kasutati selles töös nii infot Jäätmearuandluse Infosüsteemi (JATS) kui ka autori poolt läbiviidud küsitluse andmeid.

Küsitlus koostati *Google Formis* ning oli suunatud põhiliselt nii tekstiilitootmisega tegelevatele ettevõtetele ja asutustele kui ka tekstiilitooteid lõpptarbijale pakkuvatele ettevõtetele (küsitlusankeedid on esitatud lisas 1). Eesmärgiks oli saada infot tekstiilijäätmete kohta ettevõtelt, kust tekstiilitoodang läheb lõpptarbimisse või kus tekivad jäätmed. Niisuguste tootjate kontaktid saadi Eesti Rõiva- ja Tekstiililiidu internetileheküljelt. Lisaks neile edastati küsitlus internetist leitud *second-hand* poodidele. Autor ei pidanud vajalikuks suurte poekettidel tekstiilijäätmete kasutuse infot, kuna sealsed ülejäägid müüakse edasi ning ei lähe lõpptarbimisse.

Koostatud küsitluse põhiküsimused oli sõnastatud selliselt, et saada võimalikult palju infot tootjate tekstiilijäätmete tekkimise ning nende lõppkasutuse kohta. Küsimused tootmisettevõtetele ja müüjatele erinesid mõneti. Küsimustik edastati 55-le tootmisega tegelevale ettevõttele (mõnedele ka mitu korda) ja 48-le edasimüümisega tegelevale ettevõttele.

Lisaks küsitlusele tehti taustauuring tekstiilijäätmete tekke kohta Jäätmearuandluse Infosüsteemis (JATS) (Jäätmearuandluse Infosüsteem, 2017). Antud töös kasutatud tekstiilijäätmete andmed on saadud riikliku taseme päringutest. Töös kasutati kaheteistkümne viimase aasta andmeid. Kokku kasutati töös seitset andmevälja: aastane koguteke (sh kogutud jäätmed), taaskasutatud, kõrvaldatud, prügilasse ladestatud, määratlemata käideldud, eksporditud tekstiilijäätmed ja laoseis aasta lõpus. Infosüsteemis otsingul kasutati keskkonnaministri 14.12.2015 määrusega nr 70 „Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu“ (Jäätmeliikide ja ohtlike jäätmete nimistu, 2017) kehtestatud jäätmekoode. Jäätmestatistika päringus kasutatud jäätmekoodid on toodud Tabelis 1.

Tabel 1. Jäätmestatistika päringus kasutatud jäätmekoodid.

Jäätme nimetus	Jäätmekood
Komposiitmaterjalide (impregneeritud tekstiil, elastomeerid, plastomeerid) jäätmed	04 02 09
Töötlemata tekstiilikiudude jäätmed	04 02 21
Töödeldud tekstiilikiudude jäätmed	04 02 22
Tekstiilipakendid	15 01 09
Jäätmete mehaanilise töötlemise jäätmed	19 12 08
Olmejäätmete hulgast välja nopitud või liigiti kogutud rõivad	20 01 10
Olmejäätmete hulgast välja nopitud või liigiti kogutud tekstiil	20 01 11

Jäätmekood 04 on naha-, karusnaha- ja tekstiilitööstusjäätmed. 04 02 tähistab tekstiilitööstusjäätmeid ja 04 02 09 on komposiitmaterjalide (impregneeritud tekstiili, elastomeeride, plastomeeride) jäätmed. 04 02 21 on töötlemata tekstiilikiudude jäätmed ja 04 02 22 on töödeldud tekstiilikiudude jäätmed.

Jäätmekood 19 on jäätmekäitlusettevõtete, ettevõtteväliste reoveepuhastite ning joogi- ja tööstusvee käitlemisel tekkinud jäätmed. 19 12 on jäätmete mehaanilise töötlemise jäätmed, näiteks nimistus mujal nimetamata sortimis-, purustamis-, kokkupressimis- või granuleerimisjäätmed. 19 12 08 on tekstiilid.

Jäätmekood 20 on olmejäätmed (kodumajapidamisjäätmed ja samalaadsed kaubandus-, tööstus- ja ametiasutusjäätmed), sealhulgas liigiti kogutud jäätmed. 20 01 on olmejäätmete hulgast välja korjatud või liigiti kogutud jäätmed (välja arvatud alajaotises 15 01 nimetatud jäätmed). 20 01 10 vastab rõivastele ja 20 01 11 tekstiilidele.

Nii autori poolt koostatud küsitluse vastused, kui ka JATS infosüsteemist saadud andmed koguti Microsoft Excelisse ja analüüsiti. Kuna küsitluste vastused olid väga erinevad, siis otsustas autor osad tulemused ülevaatlikuma pildi saamiseks sarnasuse alusel grupeerida ja vastused kuvada vahemikuna.

Lisaks kasutati Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuringut (2013). Sellega selgitati välja, kui palju leidub lisaks

eelpool toodud jäätmekoodidega defineeritud jäätmetele olmeprügis ka tekstiilijäätmeid (SEI Tallinna Keskus & Säästva Eesti Instituut, 2013).

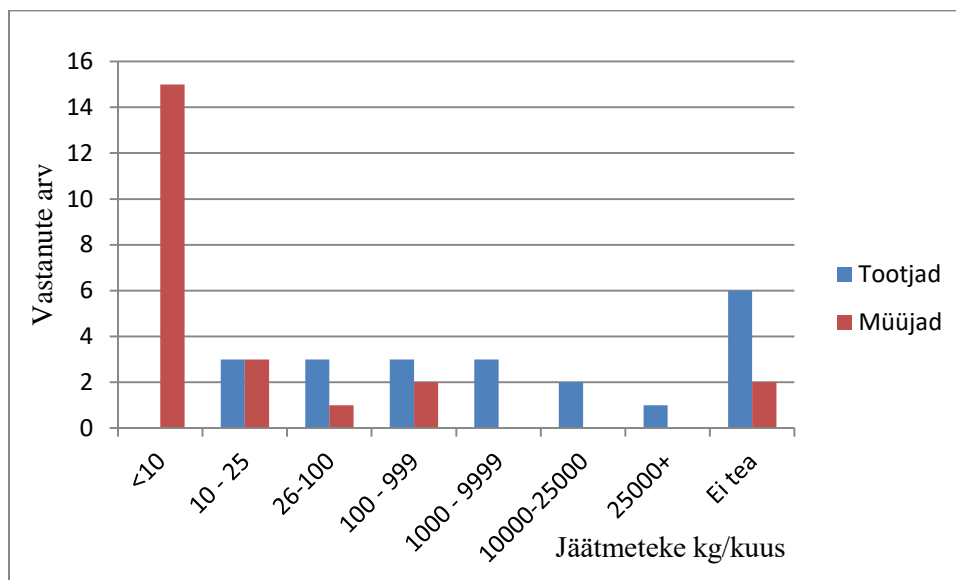
3. TULEMUSED

3.1 Küsitlusankeedi vastused

Küsitlusele edastati 55le tekstiilitoodete tootmisega tegelevale ettevõttele, kellest vastas 21 ehk 38%. Sarnane küsimustik edastati ka 48 edasimüüjale, kellest vastas 23 ehk 48%.

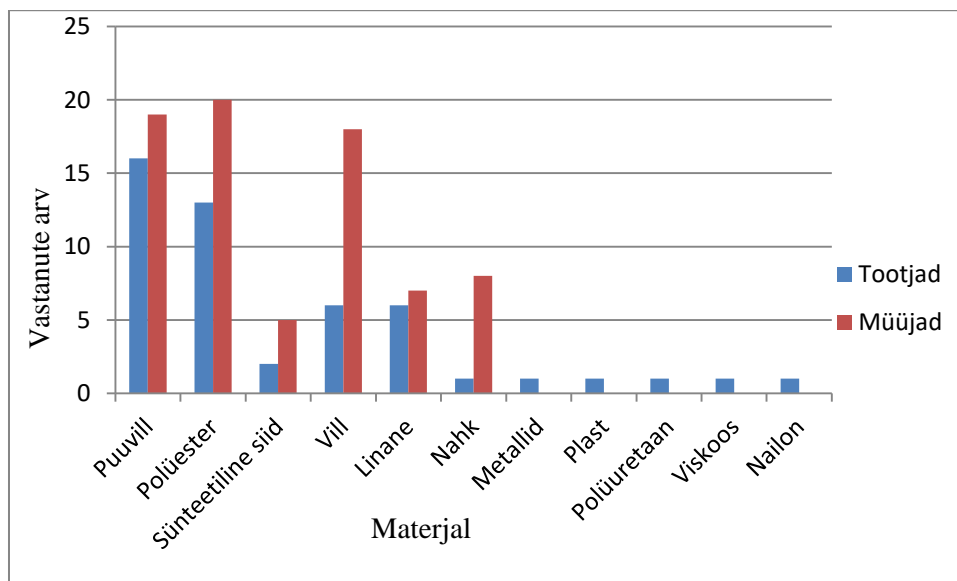
Vastused küsimusele: „Mitu kilogrammi tekstiilijäätmeid tekib Teie ettevõttes igakuiselt?“ on toodud joonisel 1. Edasimüügiga tegelevatest ettevõtetest 65% vastas, et neil tekib tekstiilijäätmeid alla 10 kg kuus (mõnel isegi alla paari kg kuus); 13% vastanutest tekib 10 – 25 kg tekstiilijäätmeid kuus; 4% vastanutes 26 – 200 kg ja 9% vastanuist lausa 100 – 999 kg tekstiilijäätmeid kuus.

Tootmise tegelevatest ettevõtetest 13% tekib kuus 10-25 kg tekstiilijäätmeid, sama suurel hulgal, ehk 13% ettevõtetest tekib 26-100 kg, 100-999 kg ja 1000-9999 kg tekstiilijäätmeid kuus. 10% vastanutest tekib küsitluse järgi 10 000-25 000 kg tekstiilijäätmeid kuus ja 5% isegi üle 25 000 kg tekstiilijäätmeid kuus. Küsimusele palju jäätmeid tekib igakuiselt andis vastuse „Ei tea“ 9% edasimüüjatest ja 29% tootjatest.



Joonis 1. Vastused küsimusele: Mitu kilogrammi tekstiilijäätmeid tekib Teie ettevõttes igakuiselt?

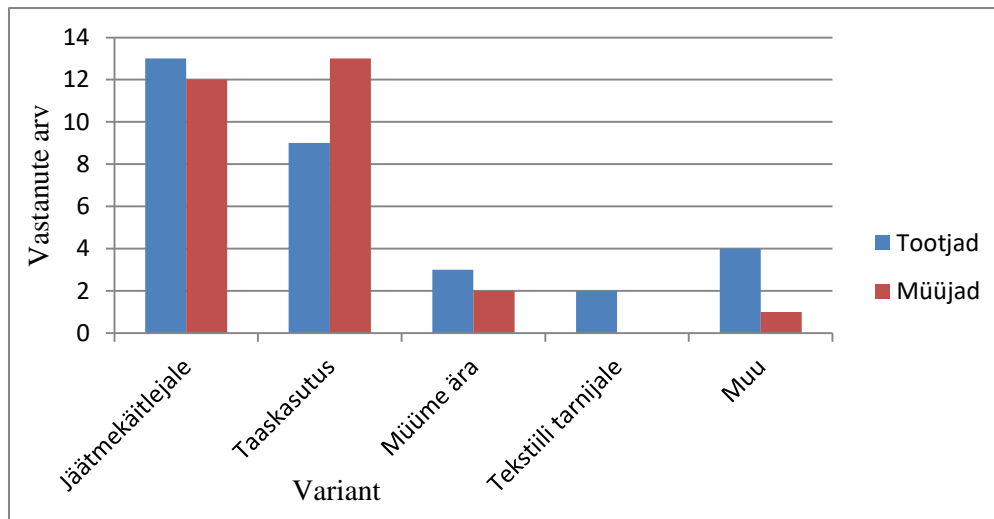
Joonisel 2 on toodud kokkuvõtvalt, millistest materjalidest koosnevad peamiselt ettevõtete tekstiilijäätmed. Tulemused näitavad, et tekstiilitoodete edasimüüjate seas on kolm kõige enam esinevat materjali polüester (87%), puuvill (83%) ja vill (78%), millele järgnevad nahk (35%), lina (30%) ja sünteetiline siid (22%). Tekstiilitoodete tootjatel on tekstiilijäätmed valdavalt puuvill (76%) või polüester (62%), millele järgnevad vill ja lina, mõlemat tekib 29% ettevõttel. Vähesemal määral tekib ka sünteetiline siid (10%) ja tekstiilijäätmeid, mis sisaldavad, metalli, plasti, polüuretaani, viskoosi või nailonit (igaüks 5%).



Joonis 2. Vastused küsimusele: Mis materjalist peamiselt Teie ettevõtte tekstiilijäätmed koosnevad?

Küsimusele mida tehakse ettevõttes tekkivate tekstiilijäätmetega vastati küllaltki sarnaselt ja need tulemused on toodud joonisel 3. Nii tekstiilitoodete tootjatel kui ka edasimüüjatel on kaks põhilist tekstiilijäätmete realiseerimise võimalust. Edasimüüjatest 57% rakendab taaskasutamise võimalust ja 52% annab tekstiilijäätmed üle jäätmekäitlejale. Mõni üksik edasimüüja kasutab mõlemat varianti. 9% vastanutest müüb kauba maha odavamalt ja 5% töötleb tekstiilijäätmeid ise ümber.

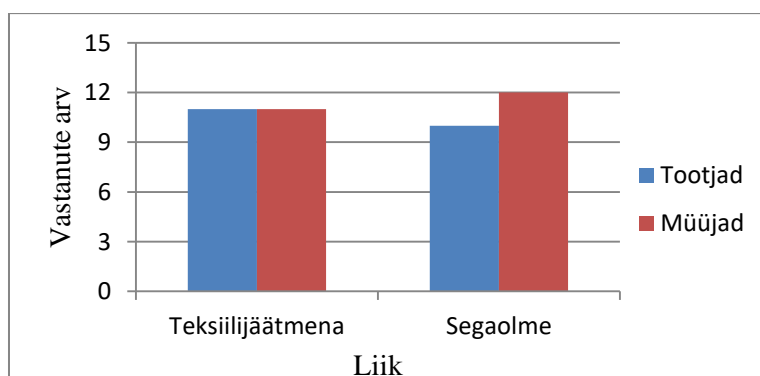
Tootmisettevõtted annavad suures osas tekstiilijäätmed jäätmekäitlejatele (62%). Taaskasutus tootmisettevõtete poolt jagunes kaheks: ühelt poolt kasutati jäätmeid tootmises algsel eesmärgil ja seda rakendavad 14% vastanuist. Teisalt kasutatakse jäätmeid muude toodete tootmiseks (29% ettevõtetest). Muudeks toodetakse olid näiteks: vatiin, näidised, mütsid, kotikesed, linikud. 19% vastanutest annavad oma tekstiilijäätmed käsitööhuvilistele, heategevuseks või autoremondifirmadele. 14% ettevõtetest müüvad oma tekstiilijäätmed edasi teistele ettevõttele ja 10% kasutavad võimalust anda jäätmed tagasi tekstiilitarnijale.



Joonis 3. Vastused küsimusele: Kuidas kasutatakse tekstiilijäätmeid Teie ettevõttes?

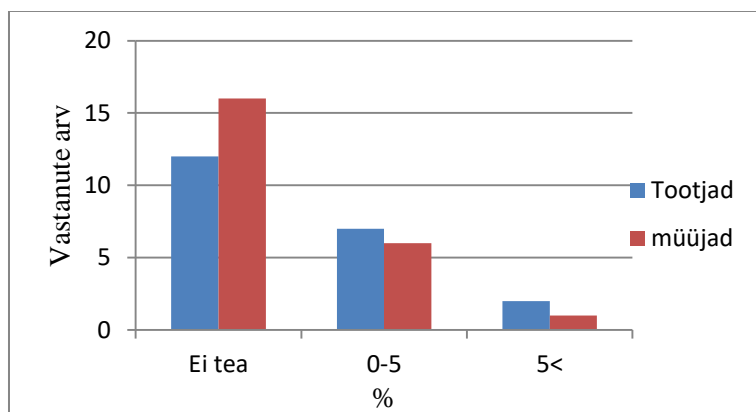
Autor uuris ka, millistele ettevõtetele tekkivad tekstiilijäätmed üle antakse, ja põhiliseks osutusid jäätmekäitlusega tegelevad ettevõtted Eesti Keskkonnateenused, Ekovir ja Ragn-Sells. Teisel kohal olid teise ringi (*second-hand*) poed. Jäätmeid antakse ka koolidele käistööõpetuseks, heategevuseks ja ka vajajatele, näiteks lasterikastele peredele. Ettevõtetest toodi välja ka Eesti Plasti, Kuusakoskit ja Toom Tekstiili, kuhu oma jäätmeid üle antakse.

Küsimusele mis liiki jäätmetena ettevõtte oma tekstiilijäätmed üle annavad vastati nii tootjate, kui ka müüjate poolt üllatavalt võrdselt (joonis 4). 48% edasimüüjatest ja 52% tekstiilitootmisega tegelevatest ettevõtetest vastas, et tekstiilijäätmed antaksegi üle kui tekstiilijäätmena. Vastavalt siis 52% ja 48% vastasid, et tekstiilijäätmed lähevad segaolmejäätmete sekka ja neid eraldi jäätmeliigina üle ei anta.



Joonis 4. Vastused küsimusele: Mis liiki jäätmena Teie ettevõtte tekstiilijäätmed üle antakse?

Viimase küsimusega sooviti välja selgitada, kui palju ettevõtetes sisendina kasutatavatest tekstiilmaterjalist jääb alles jäätmena. Vastused on toodud joonisel 5. 70% edasimüügi ja 57% tekstiilitootmisega tegelevatest ettevõtetest ei osanud hinnata, mitu protsenti ja kui palju koguseliselt sisendmaterjalist väljub jäätmena. 26% edasimüüjatest ja 33% tekstiilitootjatest jääb sisendmaterjalist jäätmena alles 0-5% tekstiili. Üle 5% sisendmaterjalist läheb tekstiilijäätmeks 4% edasimüüjatest ja 10% tootmisega tegelevatest ettevõtetest.

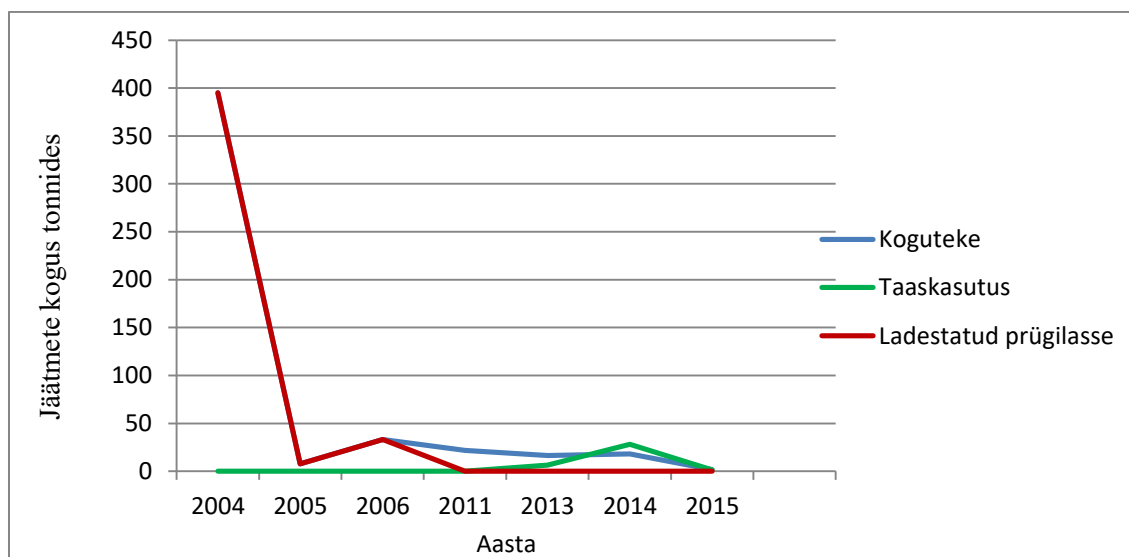


Joonis 5. Vastused küsimusele: Kas oskate hinnata, kui mitu protsenti Teie ettevõttes sisendina kasutatavatest tekstiilmaterjalist läheb jäätmetekkesse?

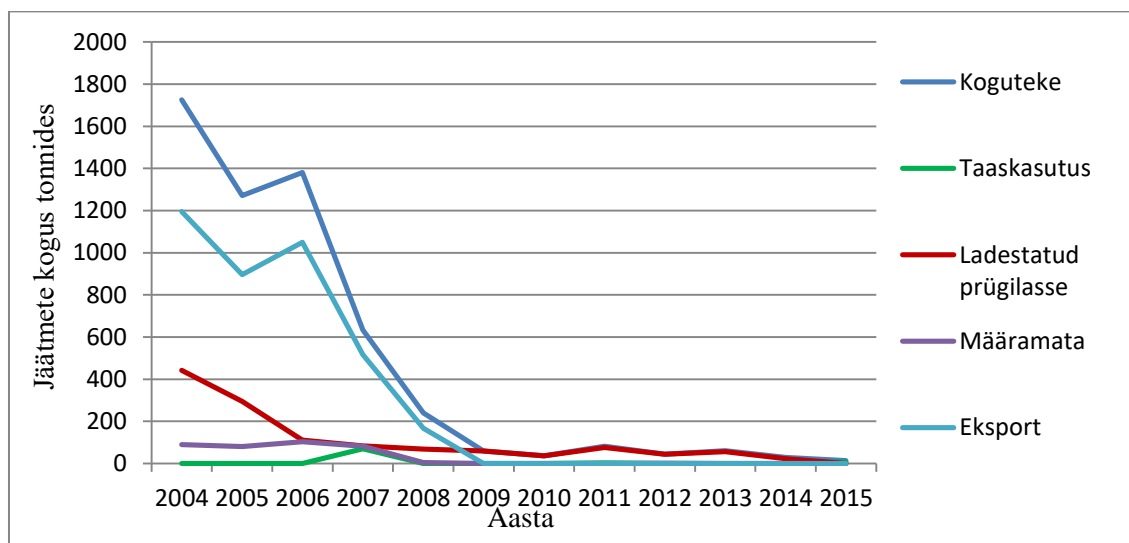
3.2 Jäätmearuandluse infosüsteemi (JATS) statistika

Joonistel 6 – 8 on toodud aastatel 2004 – 2015 tekstiilitööstusjäätmekes tekkimise ja kasutamise statistika. Joonis 6 on kujutatud komposiitmaterjalide jäätmekes (jk 04 02 09). Kui aastal 2004 tekkis peaaegu 400 tonni jäätmekes, millest kõik ladestati prügilasse, siis aastal 2015 tekkis ainult 1,65 tonni tekstiilijäätmekes. Alates 2013 aastast on hakatud komposiitmaterjale taaskasutama ja 2014 aastal läks kogu tekkinud ja ka laos olnud jääde taaskasutamisse. Aastal 2015 taaskasutati 98% tekkinud komposiitmaterjali jäätmekesest.

Töötlemata tekstiilikiudude (jk 04 02 21) teke ja kasutus on toodud joonisel 7. Võrreldes komposiitmaterjalidega on töötlemata tekstiilikiudude jäätmekes palju suuremas koguses. Langustrend ei ole nii järsk, kuid siiski on kuue aastaga (2004 – 2009) jäätmekes teke 1725 tonnilt langenud 59 tonnile aastas. Aastatel 2004 – 2008 eksporditi 73% tekkinud jäätmekesest ja seetõttu vähenes vajadus neid jäätmekes prügilasse ladestada. Neil aastatel ladestati prügilasse kokku 998 tonni töötlemata tekstiilikiudude jäätmekesest, mis moodustab 19% kogu jäätmekesest. Alates 2009. aastast ei ekspordita enam neid jäätmekes ja 85% jäätmekesest on ladestatud prügilasse, kuid see on siiski vaid 27% sellest kogusest, mis ladestati aastatel 2004 – 2008.



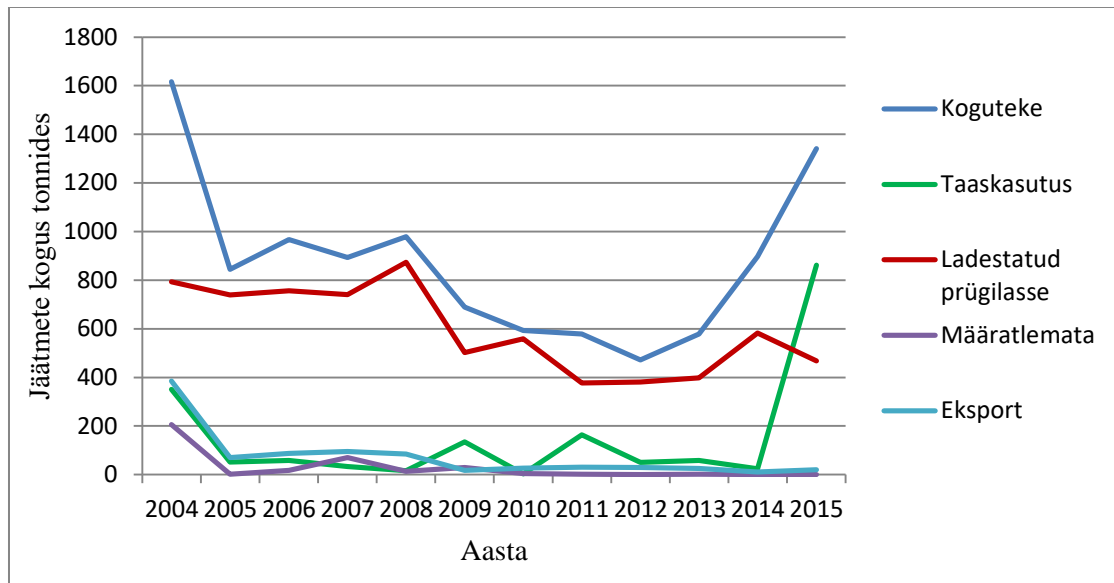
Joonis 6. Komposiitmaterjalide (impregneeritud tekstiil, elastomeerid, plastomeerid) jäätmete teke ajas – jäätmekood 04 02 09.



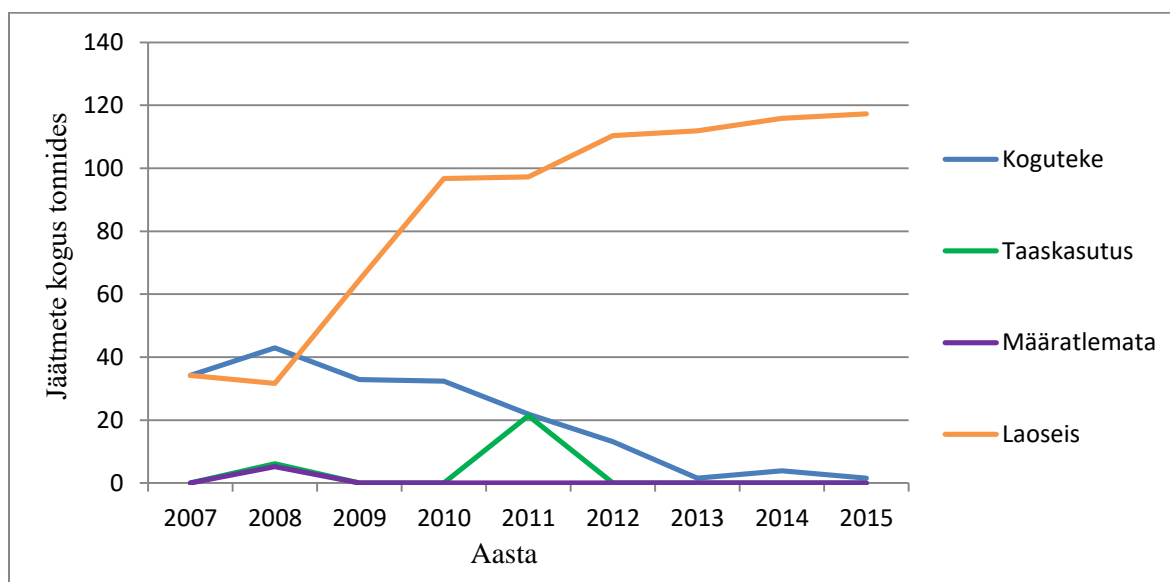
Joonis 7. Töötlemata tekstiilikiudude jäätmed – jäätmekood 04 02 21.

Erinevalt kahest viimasest jäätmeliigist, millede kogused olid aastatega tublisti vähenenud, on töödeldud tekstiilijäätmete (jk 04 02 22) trend vastupidine. Kuni aastani 2012 oli jäätmete teke peaaegu pidevas langustrendis, kuid pärast seda on väga järsult uuesti tõusuteel. Kuni 2014 aastani oli valdavaks käitlemisviisiks prügilasse ladestamine, kuhu ladestati kokku 6703 tonni jäätmeid, mis on 74% selle jäätmeliigi kogu aastases jäätmete tekkest. aastatel 2004 -

2014 taaskasutati ainult 10% jäätmetest. 2015 aasta annab aga lootust, et trend on muutumas ja taaskasutamise osatähtsus on suurem ja prügilatesse ladestamine muutub aina vähemaks.



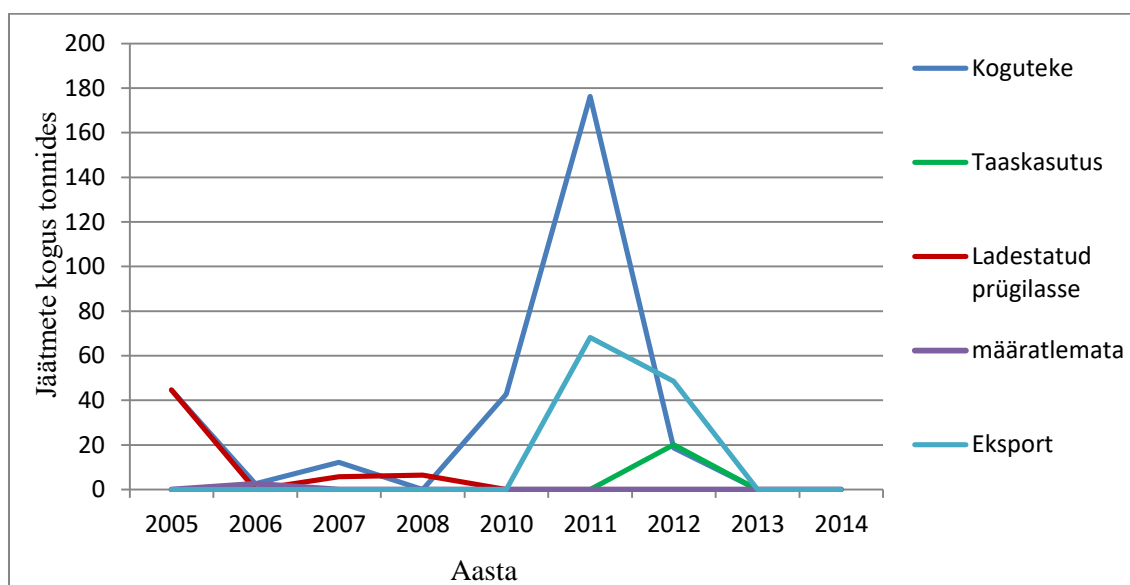
Joonis 8. Töödeldud tekstiilikiudude jäätmed – jäätmekood 04 02 22.



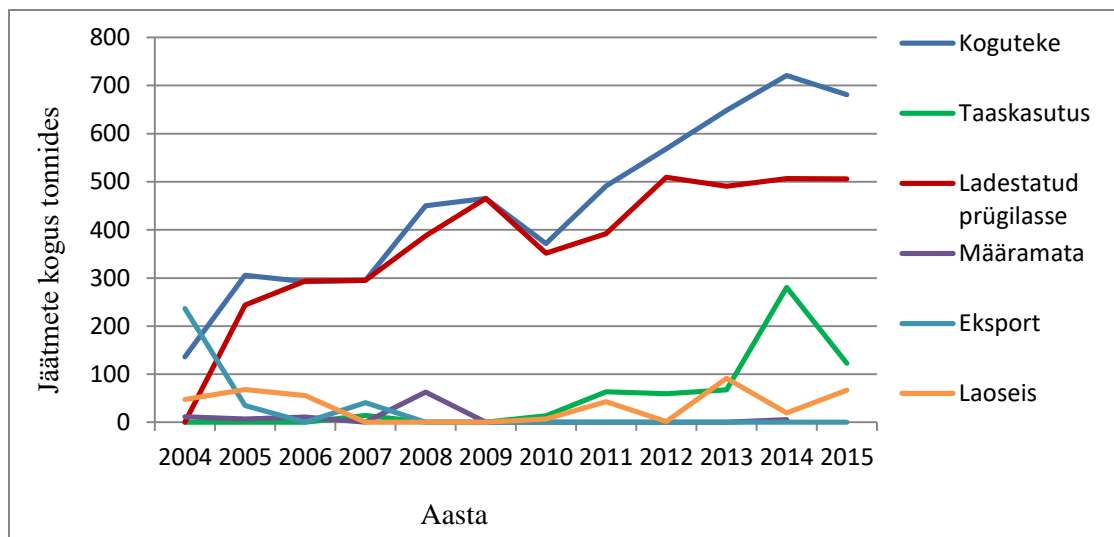
Joonis 9. Tekstiilpakendi jäätmed - jäätmekood 15 01 09.

Jäätmekoodiga 19 12 08 defineeritud jäätmed on toodud joonisel 11. Võrreldes teiste jäätmeliikidega ei teki seda jäadet väga palju. Erandiks võib lugeda aastat 2011, mil mehaanilisel töötlemisel tekkis tekstiilijäätmeid 176 tonni, samal sellest eelnevatel ja järgnevatel aastatel tekkis sellist sorti jäätmeid vaid 2 tonnist 44 tonnini. Viimasel kahel aastal (2013, 2014) ei ole seda jäadet üldse tekkinud ning ka laos oleva jäägiga ei ole midagi ette võetud. Algusaastatel prooviti jäadet prügilasse ladestada, seejärel eksportida ning ka taaskasutuada, kuid miskipärast ei leidnud need käitlusviisid korralikku rakendust ja tänaseks seisab 84 tonni mehaanilisel töötlemisel tekkivatest jäätmetest kuskil laos.

Liigiti kogutud või olmejäätmetest eraldatud rõivaste statistilised andmed on toodud joonisel 12 ja tekstiilide statistika joonisel 13. Ära visatavate rõivaste kogused on aasta aastalt suurenenud. Kui aastal 2004 oli visati ära umbes 135 tonni rõivaid, siis aastal 2015 oli sama näitaja juba 681 tonni. See tähendab enam kui 5 kordset tõusu. Kuni 2010 aastani ladestati enamus rõivastest prügimäele ja taaskasutuse osakaal oli marginaalne. Stabiilsemalt hakati nende jäätmete taaskasutamisega tegelema 2010. aastal, mil taaskasutati tagasihoidlikud 13 tonni jäätmeid, aga 2014 aastal taaskasutati juba 280 tonni ja 2015 aastal 123 tonni ära visatavatest rõivastest.

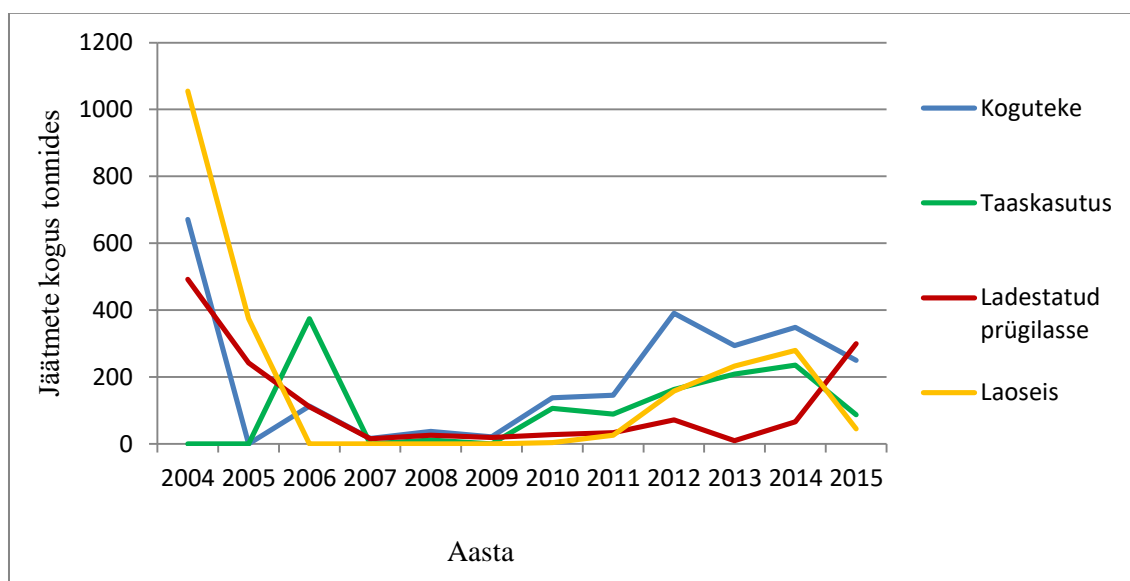


Joonis 10. Jäätmete mehaanilise töötlemise jäätmed – jäätmekood 19 12 08.



Joonis 11. Olmeprügis või ligiiti kogutud rõivad – jäätmekood 20 01 10.

Üldiselt on äravisatava tekstiili hulk aastatega vähenenud. Kui aastal 2004 oli koguteke 671 tonni, siis aastaks 2015 oli koguteke vähenenud 63%, olles 250 tonni. Huvitav on aga see, et aastatel 2005 ja 2007 – 2009 oli koguteke väga väike (16 – 37 tonni aastat). Kuni aastani 2014 (va esimesel kahel aastal) oli taaskasutamine põhiline käitlemise meetod. Viimasel kahel aastal on aga järsult suurenenud prügilatesse ladestamise osakaal. Hoogsalt on vähenenud ka statistika tegemise algusaastatel olnud suur laoseis. Alates 2010. aastast hakati taas lattu koguma jäädet, aga viimastel aastatel on seegi langustrendis.



Joonis 12. Olmeprügis või liigiti kogutud tekstiil – jäätmekood 20 01 11.

Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuringu kohaselt on Eesti segaolmejäätmetes tekstiili ja rõivaste sisaldus 5,1%. Vaadates viimase kolme aasta (2013 – 2015) olmeprügi teket, mis on vastavalt 380 000, 399 000, 395 000 tonni, siis tuletatav rõivaste ja tekstiili hulk olmeprügis on vastavalt ligikaudu 19 380, 20 349 ja 20 145 tonni. Arvutamaks kokku, kui palju jäätmetest deklareeritakse tekstiilijäätmena, liideti kõikide jäätmeliikide aastane teke kokku. 2013 aastal võeti vastu 1598,76 tonni tekstiilijäätmeid, aastal 2014 oli see arv 2016,87 tonni ja aastal 2015 võeti vastu 2289,14 tonni tekstiilijäätmeid. Ehk 2015 aastal tekkinud tekstiilijäätmetest 90% on olmeprügi hulgas.

Isegi kui kogumispunktidega saaks kokku korjatud ainult 50% olmeprügisse minevatest jäätmetest, siis aastal 2013 oleks saanud isolatsioonimaterjali tootmiseks kasutada 9690 tonni materjali. 2014. aastal oleks materjali kogus olnud 10 174,5 tonni ja 2015. aastal 10 072,5 tonni. Lisaks saab kasutada veel jk 04 02 21, 04 02 22, 20 01 10 ja 20 01 11 toodud jäätmeid, ehk aastal 2013 kokku ~11 270 tonni, 2014. aastal ~12 169 t ja 2015. aastal ~12 358 tonni. Kui võtta paneelide isolatsioonipaneelide tiheduseks $50 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Hadded *et al.*, 2016), siis 2013 aastal tekkinud tekstiilijäätmetest oleks saanud toota ~225 413 m^3 , 2014. aastal ~243 389 m^3 ja 2015. aastal ~247 170 m^3 isolatsioonimaterjali. Arvestades isolatsioonipaneeli paksuseks 20 cm, teeb see vastavalt 1 127 065 m^2 , 1 127 065 m^2 ja 1 235 850 m^2 . Sellega oleks saanud soojustada 2013 aastal 4025 kahekorruselist 100 m^2 ehitusaluse pindalaga eramaja, kõrgusega 7 m või 606 kortermaja 24 korteriga. 2014 ja 2015 oleks saanud isolatsioonimaterjali saanud toota vastavalt 4346 ja 4413 eramaja või 654 ja 664 korterelamu soojustamiseks.

Tabel 2. Koondtabel JATS andmetest (kogused tonnides).

Jäätmeliik Aasta	04 02 09	04 02 21	04 02 22	15 01 09	19 12 08	20 01 10	20 01 11	Kokku
2004	395,20	1725,89	1616,82	-	-	135,72	671,34	4544,97
2005	7,7	1270,80	844,80	-	44,6	305,79	0	2473,69
2006	33,36	1381,31	967,28	-	2,50	292,12	113,30	2789,87
2007	-	632,62	892,96	34,18	12,12	295,10	16,33	1883,31
2008	-	240,08	978,61	42,93	0	450,10	37,24	1748,96
2009	-	58,56	688,81	32,86	-	465,48	20,91	1266,62
2010	-	36,22	592,92	32,33	42,77	371,65	138,16	1214,05
2011	21,72	82,38	578,57	21,88	176,26	491,26	145,64	1517,71
2012	-	44,46	472,37	13,12	18,71	568,50	390,91	1508,07
2013	16,45	60,62	577,97	1,57	0	648,23	293,84	1598,68
2014	18,02	28,64	897,10	3,88	0	720,73	348,50	2016,87
2015	1,66	13,44	1341,07	1,50	-	681,22	250,25	2289,14
Keskmine	70,59	464,58	870,77	20,47	33,00	452,16	202,20	2071,00

4. ARUTELU

Antud magistritöö eesmärgiks oli hinnata, kui palju tekib Eestis tekstiilijäätmeid ja kui suurtes mahtudes oleks võimalik toota sellest isolatsioonimaterjale. Vajalikud andmed saadi JATS keskkonnast ja lisaks edastati küsitlus ka tekstiilitoodetega tegelevatele ettevõtetele. Küsitlusele vastas vaid 38% küsitluse saanud ettevõtetest ja 48% edasimüüjatest. Usaldusväärsemate ja ülevaatlikumate tulemuste saamiseks oleks tarvis rohkemaid vastuseid. Lisaks vastati paljudele küsimustele „EI TEA“, mis võis olla põhjendatud ebasobivast küsimuse sõnastusest, vastajate vähese info olemasolust või ka soovist mitte avaldada mõnda infokildu.

Analüüsitud küsitluse tulemuste põhjal kasutavad küsitlusele vastanud ettevõtted kahte põhilist tekstiilijäätmetest vabanemise meetodit. Kõige enam antakse tekkivad tekstiilijäätmed üle jäätmekäitlejatele ja ka taaskasutatakse oma ettevõtetes muude toodete tegemiseks või antakse taaskasutamiseks teistele ettevõtetele. Edasimüüjate vastustest selgus, et nad üritavad vabaneda oma jäätmetest kampaaniate käigus või neid tasuta ära jagades, et mitte lihtsalt tekstiilijäätmeid prügikasti visata. Hetkel puudub aga kindel süsteem või etteantud kava, kuidas tekstiili tootvad ettevõtted või edasimüüjad saaksid võimalikult keskkonnasõbralikult ja jätkusuutlikult tekkivaid tekstiilijäätmeid käidelda. Teine suurem probleem on see, et pooled küsitletud ettevõtetest annavad oma tekstiilijäätmed üle segaolmejäätmetena, ehk siis selle jäätmega ei ole enam midagi teha, kuna on juba määrdunud ja läheb edasi prügilasse ladestamisse või põletatakse sooja ja elektri tootmise eesmärgil.

Seega, kui Eestis oleks olemas täiendavaid võimalusi tekstiilijäätmete taaskasutamiseks, siis oleks tõenäoliselt võimalik mõjutada ettevõtteid tekstiilijäätmeid puhtana üle andma ja vähem tekstiilijäätmeid satuks segaolmejäätmete hulka. Kui tekstiilijäätmete liigiti üleandmine taaskasutuseks oleks ettevõtetele odavam, kui nende segaolmejäätmete hulka paigutamine, siis oleks ettevõtetel olemas motivatsioon neid ka liigiti üle anda.

Viimasel kolmel aastal on tekkinud olemeprügi koguseid olnud üsna stabiilsed (380 000 – 399 000 tonni) ja seal oleva tekstiilijäätme hulk on hinnanguliselt 19 300 – 20 400 tonni aastas. Kui võrrelda neid arve JATS tulemustest lähtuvalt liigiti kogutud tekstiilijäätmete kogustega (1598,76 - 2289,14 tonni), siis vahe on märkimisväärne. Selle statistika põhjal on näha, et tegelikkuses visatakse minema palju rohkem tekstiilijäätmeid kui JATS statistika andmetel. Sellele võib olla mitu põhjust, esiteks ei ole meil nii hästi välja arendatud

kogumissüsteemi kui näiteks on papil ja paberil. Teiseks on kindlasti inimeste teadmatus, et ka tekstiilijäätmeid oleks võimalik taaskasutada. Kolmandaks võib olla ka, et paljudel ettevõtetel, kel tekib jäätmeid väiksemates kogustes, on lihtsam ja odavam panna need olmeprügisse kui hakata neid eraldi deklareerima tekstiilijäätmetena. Seda kinnitasid ka läbiviidud küsitluse tulemused, mille alusel pooled ettevõtted annavad tekstiilijäätmed üle segaolmejäätmena.

Uuringu tulemustest selgus, et isolatsiooni tootmiseks ei saa kasutada kõiksugu tekstiilijäätmeid, kuna samuti nagu paberi taaskasutamisel, peab ka tekstiilijääde olema taaskasutamiseks puhas ja mitte määrdunud. Seetõttu olmeprügisse visatud tekstiilijääde ei sobi enam isolatsioonimaterjalide tootmiseks. Samuti ei sobi oma keerukuse poolest ka kompsiidmaterjalidesst, tekstiilipakendi ega ka jäätmete mehaanilise töötlemise jäätmed. Õnneks on seda liiki jäätmete teke väike.

Kõige paremini sobivad isolatsioonimaterjalide tootmiseks töötlemata ja töödeldud tekstiilikiudude jäätmed, kuna nendest saaks kõige kergema vaevaga isolatsioonipaneeli teha. Materjal on puhas ja ühtlane, mistõttu on seda lihtsam kiuliseks hekseldada ja ei pea eemaldama lukke, nõõpe jms. Ka liigiti kogutud tekstiilijäätmed sobivad isolatsioonimaterjali tootmiseks, kuid need vajavad veidi rohkem eeltööd just kokku kogumise ja materjali sortimise osas.

Tekstiilijäätmed koosnevad põhiliselt puuvillast, polüesterist, sünteetilisest siidist, villiast ja vähesemal määral ka linast ja nahast. Kõiki materjale peale naha saaks ideaalis kasutada isolatsioonimaterjalide tegemiseks, kui neilt eelmadata enne lukud, nõõbid ja muud kõvemad asjad, et vältida töötlemismasinate nugade lõhkumist.

Arvutatud koguste põhjal saaks Eestis tekkinud jäätmetest aastas toota 247 170 m³ isolatsioonimaterjali, millega oleks võimalik 20 cm paksuse isolatsioonikihiga soojustada ära üle 4 400 eramu.

4.1 Üldmudel tekstiilijäätmetest isolatsioonimaterjali tootmiseks ja kogumissüsteem

Esimese etapina peab tekstiilijäätmed kokku koguma ja selleks tuleb määrdumata tekstiilijäätmete kokku kogumissüsteemi arendamine. Suurematesse linnadesse võiks rajada kogumispunktid, kuhu saavad inimesed tuua oma vanad rõivad ja tekstiilitooted. See tagaks kasutatavad tekstiilijäätmed, mida saaks kasutada soojustuse tegemiseks. Samuti peaks

koostööd tegema ka ettevõtetega, et leida parimad lahendused nende tekstiilijäätmete kokkukogumiseks ja transpordiks.

Järgmise etapina toimub sorteerimine, mille käigus eemaldatakse materjali hulgast soojustuse tootmiseks mittesobivad materjalid ja tooted (vaibad, nahkrõivad jms). Seejärel tuleb materjalilt eemaldada kõik lukud, nõöbid ja lisandid.

Kui materjal on puhas, siis tuleb seda mitu etappi purustamist, kus materjalist jäävad alles aina väiksemad tükid, kuni lõpuks on alles ainult kiud. Tekkinud kiududele tuleb lisada sidusainet, et nad omavahel kokku siduda. Samuti tuleb lisada kahjurite ja tuleohu tõrjeks näiteks boorisoola, et materjali saaks soojustusena kasutada.

Vastavalt isolatsiooniplaadi vajadustele laotatakse õhukesi kihte üksteise otsa, kuni on saavutatud vajalik materjali paksus. Seejärel pressitakse mass kokku ja kuumutatakse, et tagada siduvainete maksimaalset efektiivsust. Viimaseks etapiks on isolatsiooniplaatide õigeks suuruseks lõikamine ja pakendamine, peale mida on nad valmis paigalduseks ehitusobjektidel.

Täiendavalt on toodetava isolatsioonimaterjali turule toomiseks vajalik teostada soojusjuhtivuse ja soojusmahutavuse kontrollmõõtmised ning määrata materjali tuleohutusklass.

KOKKUVÕTE

Järjest enam on hakatud uurima alternatiive tänapäeval põhiliselt kasutatavatele isolatsioonimaterjalidele. Katsetusi on tehtud paljude erinevate materjalidega (pillroog, tööstuslik kanep jm), kuid tihtilugu on need jäänud ainult teadustöö tasemele. Uuringud on näidanud, et tekstiilijäätmetest tehtud isolatsioonimaterjali soojusjuhtivus on 0,033 W/m K, mis on võrdväärne tänapäeval põhiliselt kasutatava kivivillale ja EPS-le. Lisaks on maailmas juba ka mõned ettevõtted, kes kasutavad tekstiilijäätmeid isolatsioonimaterjalide tootmiseks.

Antud magistritöö raames anti ülevaade Eestis iga-aastaselt tekkinud tekstiilijäätmete kogustest ja sellest, kui suurt osa neist ja kuidas saaks potentsiaalselt kasutada isolatsioonimaterjalide tootmiseks. Seejuures anti ka soovitusi, kuidas oleks võimalik vältida tekstiilijäätmete sattumist olmeprügisse ja suurendada nende taaskasutust.

Töö tulemusena järeldati, et Eestis tekkivatest tekstiilijäätmetest oleks võimalik toota isolatsioonimaterjali. Näiteks 2015. Aastal Eestis tekkinud tekstiilijäätmetest, kui neist oleks õnnestunud kokku koguda määrdumata materjaline 50%, oleks saanud toota 247 170 m³ isolatsioonimaterjali, millega saaks soojustada 20 cm paksuse isolatsioonikihi 4 400 kahekorruselist ja 100 m² ehitusalase pindalaga eramut või 664 kortermaja 24 korteriga. Küsitluse järgi on tekstiilijäätmete põhilised materjalid puuvill, polüester ja vill, mis sobivad isolatsioonimaterjali valmistamiseks. Suureks probleemiks on see, et ~90% tekstiilijäätmetest on olmeprügi hulgas, mistõttu on need määrdunud ja neid ei saa kasutada isolatsioonimaterjali tootmiseks. Seega tuleks rakendada ka tekstiilijäätmetele liigiti kogumiseks kogumispunkte ja kogumissüsteeme.

Veel täpsema ülevaate saamiseks tekstiilijäätmete tekkimise kohta tuleks uuringusse kaasata kodanikud, samuti näiteks restoranid ja majutusasutused, kus ka ilmselt palju tekstiilijäätmeid tekib. Lisaks tuleb teha tasuvusanalüüs ja välja selgitada, mis kujuneks tekstiilijäätmetest tehtud isolatsioonimaterjali hinnaks.

SUMMARY

Textile waste recycling opportunities as insulation materials in Estonia

Mario Mutli

Research for alternative insulation materials has become more and more popular. There has been great variability of sustainable materials that have been used for research (f. e reed, hemp fibre etc.). One alternative for modern day insulation material is textile waste. Research shows that thermal conductivity of insulation panels that are made of textile waste is 0,033 W/m K, therefore, recycled textile materials have competitive thermal properties and could be used as insulation material in buildings.

This thesis gives a review of annual textile waste generation in Estonia. It was calculated how much of the generated waste is possible to use for insulation production. Also a simplified overview of the insulation material production system was given. Suggestions for textile waste collecting system improvements were also made, to avoid textile waste ending up in mixed municipal waste.

Conclusion of this thesis is that in 2015 in Estonia enough textile waste was generated to produce 247 170 m³ of insulation material. If we would produce out of it 20 cm thick insulation panels, we could use that to insulate over 4 400 two story houses that have an area of 100 m² or 664 smaller (with 24 apartments) apartment buildings. From the survey we found out that, most common materials that the textile waste is made of are cotton, polyester and wool. These materials can also be used for insulation production. One of the main problems is that approximately 90% of the textile waste is treated as mixed municipal waste, and that means it can't be recycled for insulation production. Also effective collection systems are necessary to maximize textile waste recycling.

More surveys for citizens and other companies (such as restaurants, hotels etc.) have to be carried out for more accurate view of the textile waste production in Estonia. Also a cost benefit analysis is needed to figure out what is the unit price for textile waste insulation material.

TÄNUAVALDUSED

Autor avaldab tänu kõikidele, kes on andnud oma panuse selle magistritöö valmimisse.

Eriti suured tänud lähevad oskusliku juhendamise ja heatahtliku suhtumise eest juhendajale Alar Noorveele.

KASUTATUD KIRJANDUS

2K Services OÜ. 2017. <http://www.purest.ee/materials.html>

Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S. C., Muraza, O., Aditiya, H. B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 1352-1365.

Ahmad, S. S., Mulyadi, I. M. M., Ibrahim, N., Othman, A. R. (2016). The application of recycled textile and innovative spatial design strategies for a recycling centre exhibition space. *Social and Behavioral Science*, 234: 525-535.

Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 40: 353-366.

Asdrubali, F., Baldinelli, G. (2011). Thermal transmittance measurements, with the hot box method: Calibration, experimental procedures, and uncertainty analyses of three different approaches. *Energy and buildings*

Asdrubali, F., Bianchi, F., Cotana, F., D'Alessandro, F., Pertosa, M., Pisello, A. L. (2016). Experimental thermo-acoustic characterization of innovative common reed bio-based panels for building envelope. *Building and Environment*, 102: 217-229.

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Baldinelli, G., Bianchi, F. (2014). Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries – A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 1: 53-59.

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4: 1-17.

Aus Design OÜ. (2017). <http://www.rectaus.com/eesti>

Ayadi, A., Stiti, N., Boumchedda, K., Rennai, H., Lerari, Y. (2011). Elaboration and characterization of porous granules based on waste glass. *Powder Technology*, 208: 423-426.

BondedLogic. (2017). <http://www.bondedlogic.com/ultratouch-denim-insulation/>

- Bribian, I. Z., Capilla, A. V., Uson, A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46: 1133-1140.
- Briga-Sa, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38: 155-160.
- Caulfield, K. (2009). Discussion paper: Sources of Textile Waste in Australia. Apical International Pty Ltd.
- Claufeld, K. (2009). Sources of Textile Waste in Australia.
- Corscadden, K. W., Biggs, J. N., Stiles, D. K. (2014). Sheep's wool insulation: A sustainable alternative use for a renewable resource? *Resources, Conservation and Recycling*, 86: 9-15.
- De Lieto Vollaro, R., Guattari, C., Evangelisti, L., Battista, G., Carnielo, E., Gori, P. (2015). Building energy performance analysis: A case study. *Energy and Buildings*, 87: 87-94.
- dos Reis, J. M. L. (2009) Effect of Textile Waste on the Mechanical Properties of Polymer Concrete. *Materials Research*, 12: 63-67.
- Esperk, T. (2007). Eesti väike-elamute tarindite olelusringi hindamine: magistritöö, Tartu Ülikool, Tartu
- Euroopa komisjon, 2017. <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ. (2008). Mis käsitleb jäätmeid ja millega tunnistatakse kehtetuks teatud direktiivid. Euroopa Liidu Teataja, L 312/3. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>
- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu otsus nr 1386/2013/EL. (2013). Milles käitletakse liidu üldist keskkonnaalast tegevusprogrammi aastani 2020 „Hea elu maakera võimaluste piires“. Euroopa Liidu Teataja, L 354/171. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=EN>
- Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemmi, A. (2016). Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulation.

Hasanbeigi, A. (2010). Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>

Hurtado, P. L., Rouilly, A., Vandenbossche, V., Raynaud, C. (2016). A review on the properties of cellulose fibre insulation. Building and Environment, 96: 170-177.

Ingrao, C., Lo Giudice, A., Tricase, C., Rana, R., Mbohwa, C., Siracusa, V. (2014). Recycled-PET fiber based panels for building thermal insulation: Environmental impact and improvement potential assessment for a greener production. Science of the Total Environment, 493: 914-929.

Innotherm. (2017) <http://www.inno-therm.com/buy/specification/>

IOM Consulting, BRE, PFA, Entec. (2009). Data on manufacture, import, export, uses and releases of HBCDD as well as information on potential alternatives to its use. https://echa.europa.eu/documents/10162/13640/tech_rep_hbcd_en.pdf

ISO 22007-1:2009. (2009). Plastics – Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity – Part 1: General Principles. <https://www.iso.org/standard/40615.html>

ISO 6946:2007. (2007). Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6946:ed-2:v1:en>

Jeihanipour, A., Aslanzadeh, S., Rajendran, K., Balasubramanian, G., Taherzadeh, M. J. (2013). High-rate biogas production from waste textiles using a two-stage process. Renewable Energy, 52: 128-135.

Jäätmearuandluse Infosüsteem, Keskkonnaagentuur, (2017). <https://jats.keskkonnainfo.ee/main.php?page=content&content=overviews>

Jäätmeliikide ja ohtlike jäätmete nimistu. (2017). Vabariigi Valitsuse määrus.

Jäätmeseadus (RT I 2004, 9, 52) § 2 lõige 1.

Jäätmeseadus (RT I 2004, 9, 52) § 30 lõige 1.

Korjenic, A., Petranerik, V., Zach, J., Hroudova, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43: 2518-2523.

Kymäläinen, H-R., Sjöberg, A-M. (2014). Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulation. *Building and Environment*, 43: 1261-1269.

Lechtenböhmer, S., Schüring, A. (2011). The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency* 4: 257-270.

Lehner, S. (2005). European fire classification of construction products, new test method „SBI“, and introduction of the European classification system into German building regulations. *Otto-Graaf-Journal*.

Luamkanchanaphan, T., Chotikaprakhan, S., Jarusombati, S. (2012). A Study of Physical, Mechanical and Thermal Properties for Thermal Insulation from Narrow-leaved Cattail Fibres. *APCBEE Procedia*, 1:46-52.

Manohar, K. (2012). Experimental investigation of Building Thermal Insulation from Agricultural By-products. *British Journal of Applied Science*, 2(3): 227-239.

Mar Barbero-Barrera, M., Pombo, O., Angeles Navacerrada, M. (2016). Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime. *Composite Part, B* 94: 26-33.

Ots, A. Soojustehnika aluskursus: Termodünaamika, Põlemine, Soojusülekanne. (2011). Tallinn.

Papadopoulos, A. M. (2016). Forty years of regulations on the thermal performance of the building envelope in Europe: Achievements, perspectives and challenges. *Energy and Buildings*, 127: 942-952.

Productivity Commission. (2006). Waste management, Report no. 38, Canberra http://www.pc.gov.au/_data/assets/pdf_file/0014/21614/waste.pdf

Riigijäätmekava 2014-2020. (2015). Keskkonnaministeerium. <http://www.envir.ee/et/riigijaatmekava-2014-2020>.

Saint-Gobain Ehitustooted AS, (2017). Isover <http://www.isover.ee/tooted/styrofoam-250-sl-n>

Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F., Asdrubali, F. (2015). Insulation materials for building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62: 988-1011.

SEI Tallinna Keskus, Säästva Eesti Instituut. (2013). Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuring.

Sohn, J. L., Kalbar, P. P., Banta, G. T., Birkved, M. (2017). Life-cycle based dynamic assessment of mineral wool insulation in a Danish residential building application. *Journal of Cleaner Production*, 142: 3243-3253.

Tan, R. B. H., Khoo, H. H. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management*, 74: 195-205.

Thorsnes, P., Bishop, T. (2013), The value of basic building code insulation. *Energy Economics*, 37: 68-81.

Valverde, I. C., Castilla, L. H., Nunez, D. F., Rodriguez-senin, E., de la Mano Ferreira, R. (2013). Development of New Insulation Panels Based on Textile Recycled Fibres. *Waste Biomass Valor*, 4: 139-146.

Werrowool OÜ. (2017). <http://werrowool.eu/tselluvill/omadused-ja-eelised>

Zach, J., Korjenic, A., Petranek, V., Hroudova, J., Bednar, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings*, 49: 246-253.

Zhu, M., Ji, R., Li, Z., Wang, H., Liu, L., Zhang, Z. (2016). Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*, 112, 398-405.

LISA 1

Küsimused tootmisettevõtetele:

1) Mitu kilogrammi tekstiilijäätmeid tekib Teie ettevõttes igakuiselt?

2) Mis materjalist peamiselt Teie ettevõtte tekstiilijäätmed koosnevad?

1. Puuvill
2. Sünteetiline siid
3. Villane
4. Linane
5. Nahk
6. Polüester
7. Muu

3) Kuidas kasutatakse tekstiilijäätmeid Teie ettevõttes?

- a) Kasutate oma tootmises algsel eesmärgil
- b) Annate tekstiili tarnijale
- c) Annate üle jäätmekäitlejale
- d) Taaskasutate oma tootmises muude toodete tegemiseks (siin pidid täpsustama kas mis toodete)
- e) Muu

4) Millistele ettevõtetele annate Teie ettevõttes tekkivad tekstiilijäätmed?

5) Mis liiki jäätmetena Teie ettevõtte tekstiilijäätmed üle antakse?

6) Kas oskate hinnata, kui mitu protsenti Teie ettevõtte sisendina kasutatavatest tekstiilmaterjalist läheb jäätmetekkesse?

Müüjatele suunatud küsimustik oli peaaegu samasugune. Erinevuseks oli ainult 3 küsimuse vastusevariandid, mis olid:

- a) Anname tekstiili tarnijale
- b) Anname üle jäätmekäitlejale
- c) Taaskasutus
- d) Muu

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Mario Mutli,

Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Eestis tekkinud tekstiilijäätmete taaskasutamisevõimalused isolatsioonimaterjalina“,

mille juhendaja on Alar Noorvee

reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 23.05.2017